

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

**KENTSEL ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ TOPRAĞIN BAZI
BİYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

Shima FARASAT

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ANKARA
2013

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

KENTSEL ATIKSU ARITMA ÇAMURLARININ TOPRAĞIN BAZI BİYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Shima FARASAT

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ayten NAMLI

Bu çalışmada, risk faktörü bulunmadığı tespit edilen arıtma çamurları ile bunların çıkarıldığı bölgeye yakın alanlardan toprak örnekleri (0-20 cm) alınarak özellikleri belirlenmiş ve inkübasyon ve sera denemeleri kurulmuştur. Ayrıca Ankara’da 1 yıl süreli tarla denemesi yürütülmüştür. Tüm denemelerde toprağın pH, EC, organik madde, toplam azot, amonyum ve nitrat azotu, yarayışlı P_2O_5 , değişebilir K_2O , kation değişim kapasitesi, kireç, toplam ve alınabilir Cd, Pb, Ni, Zn, Cr, Cu analizleri ile beta glukozidaz, toprak solunumu (CO_2 çıkışı) ve mikrobiyal biyokütle karbonu analizleri yapılmıştır. İnkübasyon denemesinde, tüm çamur uygulamalarında belirlenen β - glukozidaz enzim aktivitesi kontrole göre fazla bulunmuştur ($P<0.05$). Varyans analizi sonuçlarına göre, topraklardaki mikrobiyal biyokütle karbonu ve toprak solunumu üzerine toprağa uygulanan arıtma çamurlarının etkisi istatistikî olarak $P<0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur. Sera denemesinde çamur uygulamaları kontrol ve DAP uygulamasına göre beta glukozidaz aktivitesini artırmıştır. En yüksek toprak solunumu ise en yüksek çamur uygulama dozunda (8 ton/da) belirlenmiştir. Kontrol ve DAP uygulamaları en düşük CO_2 çıkışı miktarlarına sahip olmuştur. Bütün çamur çeşitlerinde en yüksek çamur doz uygulaması (8ton/da) mikrobiyal biyokütle karbon miktarlarını önemli ölçüde artırmıştır. Tarla denemesinin başlangıç örneklerinde kontrol dahil tüm uygulamalarda toprağın beta glukozidaz enzim aktivite miktarları arasında önemli bir fark belirlenmemiştir. Hasat dönemi topraklarında ise toprakta beta glikozidaz enzim aktivitesi yapılan varyans analizi sonucunda uygulama interaksyonu istatistiksel olarak ($P<0,05$) önemli bulunmuştur. Hasat döneminde toprakta CO_2 çıkışı, yapılan varyans analizi sonucunda uygulama interaksyonu istatistiksel olarak ($P<0,05$) önemli bulunmuştur. Tarla denemesinin başlangıç örneklerinde toprakların mikrobiyal biyokütle karbonu değerleri hasat dönemine göre yüksek bulunmuştur.

Ağustos 2013, 357 sayfa

Anahtar Kelimeler: Atıksu arıtma çamuru, ağır metaller, enzim, biyokütle, solunum, toprak

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

EFFECTS OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT SLUDGES ON SOME OF THE BIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PROPERTIES OF SOIL

Shima FARASAT

Ankara University
Graduate School Of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Ayten NAMLI

In this study, the analyses performed on sewages from selected a region in which risk assessment determined that the sewage sludge had no risk factors, are evaluated. Soil samples (0-20 cm) were collected form near these facilities, and these samples were used for incubation and greenhouse experiments. One year field experiment was also conducted in Ankara city. In the all of experiments, some of properties of soil such as pH, EC, organic matters, total nitrogen, ammonium and nitrat nitrogen, available P_2O_5 , exchangeable K_2O , CEC, $CaCO_3$, total and available Cd, Pb, Ni, Zn, Cr, Cu, and β -glucosidase enzyme activity, soil respiration, and soil microbial biomass were determined. During the incubation period, β -glucosidase enzyme activity was higher in the treated sewage sludge compared with the control ($p < 0,05$). According to the variance analysis, the effect of sewage sludge on the microbial biomass carbon and respiration of the soil samples are statistically significant ($p < 0,05$). In the greenhouse experiments, β -glucose activity increased in sludge application, compared to control and DAP application. The highest soil respiration observed at the highest sludge application dosage (8 ton/da). Control and DAP treatment show lower soil respiration. Among all of soil amendment sewage sludge doses, the highest dose (8 ton/da) shows the highest microbial biomass carbon. In the field study, all soil samples (before growing wheat) did not show any significantly difference in β -glucosidase enzyme activity. After harvesting, according to the results of the variance analysis, observed significantly different between β -glucosidase enzyme activity and soil respiration rates of the samples ($p < 0.05$). According to the results in the field study, in the case of harvesting soil samples, the amount of microbial carbon biomass is higher than it was prior to their growth.

Agust 2013, 357 pages

Key words: Waste water sewage sludge, heavy metals, enzyme, biomass, respiration, soil

TEŞEKKÜR

Bana bu çalışma olanağı sağlayan, çalışmalarımın başından sonuna kadar bilgi ve tecrübeleri ile bana destek olan ve yol gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr. Ayten NAMLI'ya (Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), çalışmalarım sırasında benden ilgi ve desteklerini esirgemeyen ve araştırmalarımın başından sonuna kadar çalışma olanağı sağlayan değerli tez izleme komitesi üyelerim sayın Prof. Dr. Sevinç ARCAK'a (Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı) ve sayın Doç. Dr. Rıdvan KIZILKAYA'ya (Ondokuz Mayıs Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), katkılarıyla tezin daha da geliştirilmesini sağlayan değerli jüri üyelerim sayın Prof. Dr. Sonay Sözüdoğru OK (Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı) ve sayın DOÇ. DR. MEHMET ÖĞÜT' e (Çumra Meslek Yüksekokulu), çalışmalarımın süresince desteklerini esirgemeyerek önemli katkılarda bulunan sayın Doç. Dr. Oğuz Can TURGAY (Ankara Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), sayın Dr. Esin ERAYDIN ERDOĞAN'a (Toprak, gübre ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü), ODTÜ Üniversitesinin Çevre Mühendislik Bölüm başkanı sayın Prof. Dr.Dilek Sanin, Eskişehir Orman Fidanlık Müdürlüğü Araştırma laboratuvar imkanlarını kullanmamı sağlayan, değerli arkadaşım yüksek mühendis Aliye SEPKEN BERBER'e, yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Araş. Gör. Sema KARABAĞ, Araş.Gör.Onur AKÇA ve yüksek mühendis Omer FİKRET'e , çalışmalarımı gerçekleşmesinde büyük paya sahip KAMAG projesi ile destek veren kuruluş olarak TÜBİTAK yönetimine teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın başından sonuna kadar yanımda olan bir çok fedakarlık göstererek,maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan annem, babam ve kardeşlerim Reza ve Mehdi FARASAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Shima FARASAT

Ankara, Ağustos 2013

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	7
2.1 Dünyada ve Türkiye’de Arıtma Çamuru Kullanımı.....	7
2.2 Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanımı.....	18
2.3 Arıtma Çamurunun Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri.....	26
2.4 Arıtma Çamuru Uygulamalarının Toprağın Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri.....	70
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	99
3.1 Materyal.....	99
3.1.1 İnkübasyon denemesinde ele alınan arıtma çamurlarının seçimi.....	99
3.1.2 İnkübasyon denemesinde kullanılan toprak örneklerinin alınması.....	103
3.1.3 Sera denemesinde kullanılan çamur ve toprak örnekleri.....	106
3.1.4 Tarla denemesinde kullanılan çamur ve toprak örnekleri.....	107
3.2 Yöntem.....	107
3.2.1 İnkübasyon denemesinin kurulması.....	107
3.2.1.1 İnkübasyon denemesi konuları.....	108
3.2.2 Sera denemesinin kurulması.....	111
3.3 Tarla Denemesi.....	112
3.3.1 Deneme yeri konumu.....	113
3.3.2 Deneme Yeri Toprak Özellikleri.....	113
3.3.3 Morfolojik özellikleri.....	113
3.3.4 İklim özellikleri.....	114
3.3.5 Parselasyon ve toprak hazırlığı.....	117
3.3.6 Denemede kullanılan bitki materyali.....	120
3.3.7 Arıtma çamurunun sağlanması ve deneme alanına uygulanması.....	120

3.3.8 Uygulama konuları.....	121
3.3.9 Parsellerde hastalık ve zararlılara karşı ilaçlama ve üst gübreleme.....	125
3.3.10 Hasat.....	127
3.3.11 Parsellerden alınan bitki örneklerinde verim kriterlerinin değerlendirilmesi.....	128
3.3.12 Denemede yapılan analizler ve metotlar.....	128
3.3.13 Değerlendirme ve istatistiksel Analizler.....	132
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	133
4.1 İnkübasyon Denemesi Sonuçları.....	133
4.1.1 İnkübasyon denemesi topraklarının pH miktarlarındaki değişimler.....	133
4.1.2 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin EC miktarlarındaki değişimler.....	134
4.1.3 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin kireç miktarlarındaki değişimler.....	135
4.1.4 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin organik madde (OM) miktarlarındaki değişimler.....	142
4.1.5 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin katyon değişim kapasitesi (KDK) değerlerindeki değişimler.....	142
4.1.6 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin azot (N) miktarlarındaki değişimler	148
4.1.7 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve $\text{NO}_3^-\text{-N}$ miktarlarındaki değişimler.....	152
4.1.8 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin alınabilir Fosfor miktarlarındaki değişimler.....	156
4.1.9 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin K^+ değerlerindeki değişimler.....	160
4.1.10 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin alınabilir ağır metal miktarlarındaki değişimler.....	162
4.1.11 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin β - Glukozidaz enzim aktivitesi miktarlarındaki değişimler.....	174
4.1.12 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin CO_2 çıkışı (toprak solunumu) miktarlarındaki değişimler.....	179

4.1.13 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) miktarlarındaki değişimler.....	182
4.1.14 Mikrobiyal metabolik katsayı - qCO ₂ oranı (mikrobiyal solunum: mikrobiyal biyokütle)	187
4.2 Sera Denemesi Sonuçları.....	193
4.2.1 Sera denemesi topraklarının pH miktarlarındaki değişimler.....	193
4.2.2 Sera denemesi toprak örneklerinin EC miktarlarındaki değişimler.....	195
4.2.3 Sera denemesi toprak örneklerinin kireç miktarlarındaki değişimler.....	196
4.2.4 Sera denemesi toprak örneklerinin organik madde (OM) miktarlarındaki değişimler.....	197
4.2.5 Sera denemesi toprak örneklerinin katyon değişim kapasitesi (KDK) değerlerindeki değişimler.....	198
4.2.6 Sera denemesi toprak örneklerinin toplam azot (N), amonyum azot (NH ₄ ⁺ -N) ve nitrat azot (NO ₃ ⁻ -N) miktarlarındaki değişimler.....	199
4.2.7 Sera denemesi toprak örneklerinin alınabilir Fosfor ve değişebilir K miktarlarındaki değişimler.....	201
4.2.8 Sera denemesi toprak örneklerinin toplam ve alınabilir iz element ve ağır metal miktarlarındaki değişimler.....	203
4.2.9 Sera denemesi toprak örneklerinin beta glukozidaz enzim aktivite değerlerindeki değişimler.....	208
4.2.10 Sera denemesi toprak örneklerinin CO ₂ çıkışı miktarlarındaki değişimler.....	210
4.2.11 Sera denemesi toprak örneklerinin mikrobiyal biyokütle karbonu miktarlarındaki değişimler.....	211
4.2.12 Sera denemesi toprak örneklerinin mikrobiyal metabolic katsayındaki - qCO ₂ oranı (mikrobiyal solunum: mikrobiyal biyokütle) değişimler.....	212
4.2.13 Sera denemesi bitki analiz sonuçları.....	214
4.3 Tarla Denemesi.....	221
4.3.1 Tarla Denemesi toprak örneklerinin pH ve elektriksel iletkenlik (EC) miktarlarındaki değişimler.....	221
4.3.2 Tarla denemesi toprak örneklerinin kireç miktarlarındaki değişimler.....	224

4.3.3 Tarla denemesi toprak örneklerinin organik madde (OM) ve katyon değişim kapasitesi (KDK) miktarlarındaki değişimler.....	226
4.3.4 Tarla denemesi toprak örneklerinin azot miktarlarındaki değişimler.....	228
4.3.5 Tarla denemesi toprak örneklerinin Fosfor ve Potasyum miktarlarındaki değişimler.....	232
4.3.6 Tarla denemesi toprak örneklerinin toplam ağır metal miktarlarındaki değişimler.....	235
4.3.7 Tarla denemesi toprak örneklerinin alınabilir ağır metal miktarlarındaki değişimler.....	245
4.3.8 Tarla denemesi toprak örneklerinin beta glukozidaz enzim aktivitesindeki değişimler.....	253
4.3.9 Tarla denemesi toprak örneklerinin CO ₂ çıkışı miktarlarındaki değişimler.....	256
4.3.10 Tarla denemesi toprak örneklerinin mikrobiyal biyokütle miktarlarındaki değişimler.....	258
4.3.11 Tarla denemesi toprak örneklerinin mikrobiyal metabolik bölüm-qCO ₂ oranındaki değişimler	260
4.3.12 Tarla denemesi bitki örnekleri analiz sonuçları.....	261
4.3.12.1 Bitki boyu	261
4.3.12.2 Dekara tane verimi	262
4.3.12.3 Buğday sapı ve tanesi ağır metal içerikleri	267
4.3.12.4 Ağır Metallerin Biyo-alınabilirlikleri (Transfer Faktörü)	277
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	286
KAYNAKLAR.....	289
EKLER.....	318
EK 1 İnkübasyon denemesi toprak parametreleri için minitab 15 programıyla yapılan anova test çizelgeleri.....	318
EK 2 Sera denemesi toprak parametreleri için minitab 15 programıyla yapılan anova test çizelgeleri.....	343
EK 3 Tarla denemesi toprak parametreleri için minitab 15 programıyla yapılan anova test çizelgeleri.....	350
ÖZGEÇMİŞ.....	356

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Toprak örneklerinin analize hazırlanması.....	110
Şekil 3.2 Toprak örnekleri ile inkübasyon denemesinin kurulması.....	110
Şekil 3.3 Sera denemesinin kurulması.....	112
Şekil 3.4 Tarla denemesi parselasyon hazırlığı.....	123
Şekil 3.5 Çamurların Tartılması.....	124
Şekil 3.6 Çamurların parsellere karıştırılması.....	124
Şekil 3.7 Üst gübreleme.....	125
Şekil 3.8 Mayıs 2012 deneme parsellerinden görüntüler.....	126
Şekil 3.9 Bitki boyu ölçümleri ve buğday hasadı.....	127
Şekil 4.1 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprak pH'sı üzerine etkileri.....	139
Şekil 4.2 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprak EC'si üzerine etkileri	140
Şekil 4.3 Arıtma çamuru uygulamalarının toprakların kireç kapsamı üzerine etkileri.....	141
Şekil 4.4 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprakların organik madde kapsamı üzerine etkileri.....	146
Şekil 4.5 Arıtma çamuru uygulamalarının toprakların KDK değeri üzerine etkileri.....	147
Şekil 4.6 İnkübasyon denemesi dygulamalarının toprakların N değeri üzerine etkileri (%).....	151
Şekil 4.7 İnkübasyon denemesi uygulamalarının NH_4^+ -N değeri üzerine etkileri.....	154
Şekil 4.8 İnkübasyon denemesi uygulamalarının ve NO_3^- -N değeri üzerine etkileri.....	154
Şekil 4.9 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir fosfor değeri üzerine etkileri	159
Şekil 4.10 İnkübasyon denemesi uygulamalarının değişebilir K^+ değeri üzerine etkileri.....	161
Şekil 4.11 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir Zn miktarı üzerine etkileri.....	160

Şekil 4.12 İnkübasyon denemesi uygulamalarının NH_4 -asetatta-ekstrakte edilebilir Pb miktarı üzerine etkileri.....	170
Şekil 4.13 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir Cd miktarı üzerine etkileri.....	171
Şekil 4.14 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir Ni miktarı üzerine etkileri.....	172
Şekil 4.15 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir Cu miktarı üzerine etkileri.....	173
Şekil 4.16 İnkübasyon denemesi uygulamalarının Beta Glikozidaz enzim aktivitesi üzerine etkileri.....	178
Şekil 4.17 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprak solunumu üzerine etkileri.....	181
Şekil 4.18 İnkübasyon denemesi uygulamalarının mikrobiyal biyokütle karbonu üzerine etkileri.....	186
Şekil 4.19 İnkübasyon denemesi uygulamalarının qCO_2 oranı üzerine etkileri.....	189
Şekil 4.20 Sera denemesi uygulamalarının toprakların pH değerleri üzerine etkileri.....	193
Şekil 4.21 Sera denemesi uygulamalarının toprakların EC değerleri üzerine etkileri.....	196
Şekil 4.22 Sera denemesi uygulamalarının toprakların kireç değerleri üzerine etkileri.....	197
Şekil 4.23 Sera denemesi uygulamalarının toprakların OM değerleri üzerine etkileri.....	198
Şekil 4.24 Sera denemesi uygulamalarının toprakların KDK değerleri üzerine etkileri.....	199
Şekil 4.25 Sera denemesi uygulamalarının toplam N değeri üzerine etkileri.....	200
Şekil 4.26 Sera denemesi uygulamalarının toprakların $\text{NH}_4\text{-NO}_3$ değerleri üzerine etkileri.....	200

Şekil 4.27 Sera denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir P ve K değerleri üzerine etkileri.....	203
Şekil 4.28 Sera denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cu, Ni, Pb, Cr ve Zn değerleri üzerine etkileri.....	206
Şekil 4.29 Sera denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Cu, Ni, Pb, Cr ve Zn değerleri üzerine etkileri.....	207
Şekil 4.30 Sera denemesi uygulamalarının toprakların beta glukozidaz aktivitesi üzerine.....	210
Şekil 4.31 Sera denemesi uygulamalarının toprakların mikrobiyal biyokütle karbonu üzerine etkileri.....	211
Şekil 4.32 Sera denemesi uygulamalarının toprakların mikrobiyal biyokütle karbonu üzerine etkileri.....	212
Şekil 4.33 Sera denemesi uygulamalarının toprakların qCO ₂ oranı üzerine etkileri.....	214
Şekil 4.34 Sera denemesi uygulamalarının buğday bitkisi Fe, Cu, Zn, Mn değerleri üzerine etkileri.....	217
Şekil 4.35 Sera denemesi uygulamalarının buğday bitkisi azot değerleri üzerine etkileri.....	218
Şekil 4.36 Sera denemesi uygulamalarının buğday bitkisi yaş ve kuru ağırlık değerleri üzerine etkileri.....	218
Şekil 4.37 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların pH miktarı üzerine etkisi.....	223
Şekil 4.38 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların EC miktarı üzerine etkisi.....	224
Şekil 4.39 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların kireç miktarı üzerine etkisi.....	225
Şekil 4.40 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların KDK miktarı üzerine etkisi.....	227
Şekil 4.41 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların OM miktarı üzerine etkisi.....	228
Şekil 4.42 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların N-NO ₃ ⁻ kapsamı üzerine etkisi.....	231

Şekil 4.43 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların N-NH ₄ ⁺ kapsamı üzerine etkisi.....	231
Şekil 4.44 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların azot kapsamı üzerine etkisi.....	232
Şekil 4.45 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların potasyum kapsamı üzerine etkisi.....	235
Şekil 4.46 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların fosfor kapsamı üzerine etkisi.....	235
Şekil 4.47 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cd kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	242
Şekil 4.48 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Pb kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	242
Şekil 4.49 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Ni kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	243
Şekil 4.50 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cr kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	243
Şekil 4.51 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Zn kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	244
Şekil 4.52 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cu kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	244
Şekil 4.53 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların ekstrakte edilebilir Cd kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	247
Şekil 4.54 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların ekstrakte edilebilir Pb kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	247
Şekil 4.55 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların ekstrakte edilebilir Ni kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	248
Şekil 4.56 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Cr kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	252
Şekil 4.57 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Zn kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	252
Şekil 4.58 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Cu kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	253

Şekil 4.59 Tarla denemesi uygulamalarının beta glukozidaz enzim aktivitesi üzerine etkileri	256
Şekil 4.60 Tarla denemesi uygulamalarının CO ₂ çıkışı miktarı üzerine etkileri	258
Şekil 4.61 Tarla denemesi uygulamalarının mikrobiyal karbon biyokütlesi miktarı üzerine etkileri.....	260
Şekil 4.62 Tarla denemesi uygulamalarının qCO ₂ oranı üzerine etkileri.....	261
Şekil 4.63 Tarla denemesi uygulamalarının bitki boyu kapsamı üzerine etkisi.....	265
Şekil 4.64 Tarla denemesi uygulamalarının verim kapsamı üzerine etkisi.....	265
Şekil 4.65 Tarla denemesi uygulamalarının bitki ve tane N kapsamı üzerine etkisi.....	266
Şekil 4.66 Tarla denemesi uygulamalarının bitki ve tane P kapsamı üzerine etkisi.....	266
Şekil 4.67 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cd kapsamı üzerine etkisi.....	271
Şekil 4.68 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Pb kapsamı üzerine etkisi.....	271
Şekil 4.69 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Ni kapsamı üzerine etkisi.....	272
Şekil 4.70 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cr kapsamı üzerine etkisi	275
Şekil 4.71 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Zn kapsamı üzerine etkisi	275
Şekil 4.72 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cu kapsamı üzerine etkisi.....	276
Şekil 4.73 Buğday sap ve tanesi için Cd Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal).....	280
Şekil 4.74 Buğday sap ve tanesi için Pb Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)	280
Şekil 4.75 Buğday sap ve tanesi için Ni Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)	281
Şekil 4.76 Buğday sap ve tanesi için Zn Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak	

toplam metal).....	281
Şekil 4.77 Buğday sap ve tanesi için Cu Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)	282
Şekil 4.78 Buğday sap ve tanesi için Cr Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal).....	282

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Bazı ülkelerde arıtma çamurlarının giderim oranları.....	8
Çizelge 2.2 Tarım alanlarında kullanılacak arıtma çamurları için U.S.EPA ve AB standartlardaki patojen sınır değerlerinin karşılaştırılması.....	11
Çizelge 2.3 U.S. EPA halk sağlığı risk unsurları.....	12
Çizelge 2.4 Arıtma çamuru uygulanacak topraklarda izin verilen ağır metal sınır değerleri (mg/kg kuru toprak).....	13
Çizelge 2.5 Tarım alanlarında kullanılacak arıtma çamurları için ABD, Avrupa Birliğe bağlı bazı Avrupa ülkeleri ile Türkiyede izin verilen ağır metal sınır değerleri.....	14
Çizelge 2.6 On (10) yıllık ortalamalar esas alınarak bir yılda toprağa verilebilecek ağır metal miktarları	15
Çizelge 2.7 Farklı beratraf seçeneklerine göre arıtılmış çamurun maliyetleri.....	26
Çizelge 3.1 Tarımsal uygulama denemelerine alınan arıtma çamurları.....	100
Çizelge 3.2 İnkübasyon denemesinde kullanılan arıtma çamurlarının kimyasal içerikleri.....	101
Çizelge 3.3 İnkübasyon denemesinde kullanılan arıtma çamurlarının ağır metal içerikleri.....	102
Çizelge 3.4 İnkübasyon denemesinde kullanılan toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	104
Çizelge 3.5 İnkübasyona alınan örnek sayısı bilgileri.....	109
Çizelge 3.6 Beyazbayır serisi toprak profilinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.....	114
Çizelge 3.7 Polatlı Tarım İşletmesi Müdürlüğü 1999-2012 yılları arası toplam ve ekilişe düşen yağış miktarları (Kaynak: Polatlı TİGEM Aylık Klimatoloji Rasat Cetveli).....	116
Çizelge 3.8 Deneme deseni.....	117
Çizelge 3.9 Tarla denemesinde kullanılan toprak örneğinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri	118

Çizelge 3.10 Tarla denemesinde kullanılan arıtma çamurunun kimyasal içerikleri.....	119
Çizelge 4.1 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprakların pH, EC ve kireç üzerine etkisi.....	137
Çizelge 4.2 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprakların OM Ve KDK üzerine etkisi.....	144
Çizelge 4.3 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların toplam ve amonyum- nitrat azotu etkisi.....	149
Çizelge 4.4 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların alınabilir Fosfor ve değişebilir Potasyum üzerine etkisi.....	157
Çizelge 4.5 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların alınabilir Zn, Pb ve Cd içerikleri üzerine etkisi	165
Çizelge 4.6 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların alınabilir Ni, Cr ve Cu içeriklerine etkisi	167
Çizelge 4.7 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların Beta glukozidaz enzim aktivitesi ve solunum üzerine etkileri	176
Çizelge 4.8 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların mikrobiyal biyokütle karbonu ve qCO ₂ üzerine etkileri.....	184
Çizelge 4.9 Sera Denemesi uygulamalarının toprakların N, NH ₄ , NO ₃ , pH, EC, Kireç ve OM kapsamaları üzerine etkisi.....	194
Çizelge 4.10 Sera denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir P ve K ile Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Ni (mg/kg) kapsamaları üzerine etkisi.....	202
Çizelge 4.11 Sera denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cu, Ni, Pb, Cr ve Zn (mg/kg) kapsamaları üzerine etkisi.....	204
Çizelge 4.12 Sera Denemesi Uygulamalarının Toprakların Alınabilir Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Ni (mg/kg) Kapsamları Üzerine Etkisi.....	205
Çizelge 4.13 Sera Denemesi uygulamalarının toprakların biyokimyasal özellikleri üzerine etkisi.....	209
Çizelge 4.14 Tarla denemesi uygulamalarının bitkinin % N ve Fe, Cu, Zn, Mn (mg/kg) içerikleri ile yaş ve kuru ağırlıkları (g) üzerine etkisi.....	216
Çizelge 4.15 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların pH ve EC değerleri üzerine etkisi.....	223

Çizelge 4.16 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların kireç kapsamı üzerine.....	225
Çizelge 4.17 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların OM ve KDK kapsamı üzerine etkisi.....	227
Çizelge 4.18 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların azot kapsamı üzerine etkisi.....	230
Çizelge 4.19 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların yarıyışlı Fosfor ve değişebilir Potasyum kapsamı (mg/kg) üzerine etkisi.....	234
Çizelge 4.20 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların Toplam Cd, Pb ve Ni kapsamı üzerine etkisi.....	239
Çizelge 4.21 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cr, Zn ve Cu kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	241
Çizelge 4.22 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların ekstrakte edilebilir Cd, Pb ve Ni kapsamı üzerine etkisi (mg/kg).....	246
Çizelge 4.23 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Cr, Zn ve Cu kapsamı üzerine etkisi	251
Çizelge 4.24 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların biyokimyasal aktiviteleri üzerine etkisi	255
Çizelge 25 Tarla denemesi uygulamalarının bitki boyu, verim, bitki ve tane N ve P kapsamı üzerine etkisi.....	264
Çizelge 4.26 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cd, Pb, Ni kapsamı üzerine etkisi.....	270
Çizelge 4.27 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cr, Zn, Cu kapsamı üzerine etkisi.....	274
Çizelge 4.28 Buğday sap ve tanesi için Cd, Pb ve Ni Transfer Faktörü (Bitki metal/ Toprak toplam metal).....	278
Çizelge 4.29 Buğday sap ve tanesi için Zn, Cu ve Cr Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal).....	279

1. GİRİŞ

Küreselleşen dünyaya ayak uydurma noktasında, hızla gelişmekte olan teknoloji ve nüfus artışı çeşitli çevre sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Canlıların vazgeçilmez hayat kaynağı olan içme sularının, insan ve endüstriyel kaynaklı atık suların arıtılması sonucunda oluşan her türlü arıtma çamurunun biriktirilmesi, toplanması, taşınması ve bertarafı aslında büyük bir sorundur. Elde edilen arıtma çamurlarının çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Çamur bertarafı konusunda uzun yıllardan beri çeşitli yöntemler denenmiş ve çok sayıda araştırma yürütülmüştür. Bu yöntemler arasında arıtma çamurlarının toprağa verilerek bertarafı ekonomiye katkısı bakımından üzerinde önemle durulan tekniklerinden birisidir. Organik gübre ve toprak düzenleyici olarak uygun özellikler taşıyan arıtma çamurlarının tarımda kullanılmaları ile hem çamur bertarafı gerçekleştirilmekte hem de tarımsal üretimde ekonomik kazanç sağlanabilmektedir. Günümüzde uygun özellikler taşıyan arıtma çamurlarının tarım alanlarına verilerek kullanımının sağlanması oldukça yaygın bir uygulamadır.

Arıtma çamurundaki patojenler çevresel açıdan büyük önem taşımaktadır. Patojenlerin giderimi için mikrobiyal büyümeyi ve patojenlerin yayılmasını önleyecek bir ortamın yaratılmasını hedefleyen farklı yaklaşımlara sahip pek çok arıtma prosesi mevcuttur. Günümüzde, çamur uygulamalarının çevre ve insan sağlığına olan potansiyel olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla biyolojik arıtma, alkali muamelesi, ısıtma, kurutma kompostlama ve uzun süreli depolama gibi stabilizasyon ve dezenfeksiyon yöntemleri uygulanmaktadır.

Tarım toprakları için sürdürülebilir yönetim biçimlerinin ve her gün miktarları giderek artan atık çamurlar için uygun bertaraf yöntemlerinin geliştirilmesine olan ihtiyaçlar dikkate alındığında, tarımsal amaçlı atık çamur uygulamalarının Türkiye’de, uzun vadeli etkilerinin araştırılması koşuluyla kullanılabilirliğinin incelenmesi ve mümkünse değerlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle ağır metallerin toprak sisteminde meydana getirebileceği geri dönüşü olmayan kirlenmeler, kesin olarak bilinmeyen topraktan

bitkiye transfer mekanizmalarının insan ve hayvan sağlığı üzerine oluşturabileceği olası zararlı etkiler, toprağın biyolojik verimlilik başta olmak üzere verimliliklerinin bozulması ve benzeri konular çok dikkatli araştırılmalıdır.

Arıtma amurları bünyelerinde dirençli organik bileşikleri ve bitki gelişimi için gerekli makro ve mikro besin elementlerini bulundurmaktadırlar. Azot ve fosfor içerikleri arıtma amurlarının gübre değerini ortaya koymakta, organik madde değer de bu maddenin toprağı ıslah etme açısından ayrı bir önem taşıdığını göstermektedir. Arıtma amurları toprağın su tutma kapasitesini artırır. Gözenekli ve geçirgen toprak yüzeyi oluşturur ve bu da filtrasyonu artırarak yüzey akışını azaltır. Kurak alanlarda sulama sıklığı azaltılarak, toprağın daha fazla su tutması sağlanır. Toprak erozyonu azalır ve kation değerim kapasitesi artar. Ancak kentsel atıksularının arıtıldığı tesislere endüstrilerin de ön arıtım sonrası atıksularını boşaltması ağır metallerin ve birtakım sentetik organik kirleticilerin çamurda birikmelerine sebep olabilmektedir. Ayrıca arıtma sürecinde biyolojik kirleticilerin de (patojen bakteriler ve parazitik organizma yumurtaları vb.) amurda yoğunlaşması söz konusudur (Arden 1977). Tüm bu kirleticilerin çamurdan toprağa, topraktan, bitkiye, bitkiden de insana ve hayvanlara geçmesi söz konusudur. Bu nedenlerle çamurun toprağa verilmesinin riskleri söz konusudur (Schowanek vd. 2004, Bengtsson ve Tillman 2004, Laturnus vd. 2007, Fytli ve Zabaniotou 2008). Çamurun tarımsal amaçlı kullanımından önce bu risklerin ortaya çıkarılıp değerlendirilmesi gereklidir.

Arıtma amurunun ilk defa tarımsal kullanımına Chang vd. (2002)'e göre 1900'l yıllarda, Anonymous (1996b)'ye göre ise 1845'lerde başlanmıştır. Epstein (2002)'nin bildirdiğine göre ise ilk arıtma çamurunun 1531 yılında Bunzlau-Almanya'da kullanıldığına ilişkin kayıtlara rastlanılmaktadır. Anderson (1959)'a göre ise arıtma çamurunun ilk defa gübre olarak kullanılması 1927 yılında ABD'de büyük bir atıksu arıtma tesisi (AAT) kurulması ile başlanmıştır.

Kentsel atık çamurunun tarımda kullanımıyla ilgili yaygın görüş, (i) içerdiği kolay ayrışabilir organik formlarla çamurun toprak mikroorganizmalarını ve organik madde havuzunu destekleyerek toprakta verim kaybını önlediği, (ii) ancak uzun süreli ve/ya

fazla miktarda kullanıldığında ağır metal birikimine bağılı olarak topraktaki biyolojik yaşamın ve diğerk toprak özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiğı şeklindedir. Bu genellemelere şekil veren bulgular kısmen Avrupa ülkelerinin kaba bünyeli ve asit karakterli topraklarında yapılmış çalışmalardan sağlanmıştır (Chander vd. 1995, Fliebach vd. 1994, Dahlin vd. 1997). Diğerk yandan atık çamur kullanımının toprağın mikrobiyal aktiviteleri ve bitki gelişimi üzerinde herhangi bir engelleyici veya düzenleyici etkisinin olmadığı şeklinde bulgular da mevcuttur (Filcheva vd. 1996).

Tipik olarak arıtma çamurları organik karakterlidir (%60). Ayrıca azot (%3), fosfor (%2), potasyum (%0.5) ve bitkiye faydalı olan besin maddelerini içermekte ve bu bileşenleri ile tarımda kullanılan gübrelerle benzetilmektedirler. Çamur arıtma süreçlerinin sonunda çamur içinde halen kalmış olan bu besin elementleri ve organik maddeler çamurun gübre ya da toprak iyileştirici olarak toprağı verilmesinin en önemli bertaraf rotalarından biri olmasını sağlamıştır. Bu uygulama çamuru bir “atık madde” yerine “kullanılabilir kaynak” olarak görmekte ve ABD ve Kanada gibi birçok ülkede en önemli bertaraf yöntemi olarak kullanılmaktadır. Ancak araziye uygulanması düşünülen arıtma çamurlarının çevreye olumlu etkileri olduğu gibi olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için arıtma çamurlarının mutlaka stabilize edilmesi gerekmektedir. Bunun yanında, çamurların ağır metal içeriğı, çevre ve insan sağlığına yapacağı etkiler dikkate alınmalı ve gerekli uygulamalar sınır değerler göz önüne alınarak yapılmalıdır.

Arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanımı konusunda çok dikkatli olunması, hangi atığın, hangi toprağı, ne kadar, ne şekilde ve hangi kriterlere göre verileceğı sorularına bilimsel yanıtların bulunması gerekmektedir. Arıtma çamurunun çevre üzerindeki olası olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi ve arzulanan tarımsal yararların optimize edilmesi için kullanılacak dozların, uygulandığı bölge toprakları ve ekolojik koşulları, lokal-toprak, lokal-ekoloji anlayışıyla dikkate alınarak yeterli ve güvenilir bilgilere sahip olunduktan sonra uygulanmaları gerekmektedir.

Türkiyede atık su arıtma tesisleri sayısının her geçen gün artması, arıtma çamurlarının nasıl değerlendirileceğı konusunu yoğun olarak gündeme getirmektedir. Mevcut

uygulama, arıtma çamurlarının ya arıtma tesisi işletmecileri tarafından çöp depolama alanlarına atık olarak dökülmesi, ya da tesis yakınındaki çiftçiler tarafından gübre olarak bilinçsiz bir biçimde tarımsal üretimde kullanılması şeklindedir.

Arıtma çamurlarının toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ağır metal kapsamı üzerine Türkiye’de çok fazla çalışma yapılmış olmasına ve yurtdışında atık çamurun toprağın biyolojik ve enzim aktivitesi üzerindeki etkisi pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş olmasına rağmen, Türkiye’de çamurun topraktaki canlıların sayı ve aktiviteleri ile dağılımları üzerine yapılmış çalışmalar sınırlıdır.

Arıtma çamurlarının tarım alanlarında kullanımı konusunda çok dikkatli olunması, hangi atığın, hangi toprağa, ne kadar, ne şekilde ve hangi kriterlere göre verileceği sorularına bilimsel yanıtların bulunması gerekmektedir. Atık çamurların çevre üzerindeki olası olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi ve arzulanan tarımsal yararların optimize edilmesi için kullanılacak dozların, uygulandığı bölge toprakları ve ekolojik koşulları, lokal-toprak, lokal-ekoloji anlayışıyla dikkate alınarak yeterli ve güvenilir bilgilere sahip olunduktan sonra uygulanmaları gerekmektedir.

Fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların sürekli olarak ve birbiriyle uyum içinde gerçekleştiği toprak kendisini oluşturan ana materyal, bulunduğu coğrafya ve maruz kaldığı çevresel etmenlere bağlı olarak bünyesine dahil olan yabancı maddelere karşı bir tamponlama yeteneğine sahiptir. Bir başka ifadeyle, sahip olduğu özellikler ve bulunduğu koşullara göre toprak, dış ortamdan gübreleme gibi faaliyetlerle dahil olan yabancı maddeleri (ağır metaller gibi) bünyesinde tutarak besin döngülerine geçmesini yavaşlatır ve/ya bir noktaya kadar engeller. Ancak bilinçsiz ve yanlış uygulamalar ile toprağın bu tamponlayıcı ya da koruyucu fonksiyonları yitirilirse toprak zamanla verimsizleşir. Toprağın verimsizleştiğinin göstergesi olarak da biyolojik ve biyokimyasal özellikler iyi birer indikatördürler.

Toprağın biyolojik parametreleri bir indikatör olarak toprağın ekolojik yenilenmesinde rol alır. Hem organik madde sentezi, hem de toprak mikrobiyal aktiviteleri ile ilişkili olduğundan dolayı toprak verimliliği konusunda toprak mikroorganizmalarının enzim

aktivitelerinden yararlanılmaktadır. Toprak enzim aktivitesi yolu ile toprağın biyolojik özellikleri ve verimliliğe ilişkin özellikler daha iyi bir şekilde incelenebilmektedir. Toprak enzimleri, toprağın diğer biyolojik özellikleri ile yakın bir ilişkiye sahip olup, topraktaki mineralizasyon prosesinde önemli bir rol oynamaktadır. Enzim aktiviteleri, toprakta mevcut bitki türü tarafından büyük oranda etkilenmektedir. Ayrıca aynı toprakta enzimatik aktivitedeki değişimler, mikroorganizmalar tarafından enzim üretimi ve toprakta organik madde kapsamındaki değişimlerle ilişki içerisinde. Fosfataz, glikosidaz, selüloz, dehidrogenaz ve üreaz gibi toprak enzim aktivitelerinin çoğu, sadece organik madde kapsamından etkilenmekle kalmaz, aynı zamanda organik maddenin tipinden de etkilenmektedir. Aslında, enzim aktiviteleri, toprak yönetim uygulamalarından kaynaklanan toplam karbon konsantrasyonundaki değişime karşı daha hassastır. Organik madde kaynağı olarak atık çamur gibi organik atıkların özellikle az organik madde içeren topraklara uygulanması, toprak kalitesinin ve toprak enzimatik aktivitelerinin korunması ve geliştirilmesi için yaygın bir uygulamadır (Giusquiani vd. 1995).

Enzim aktivitelerinin belirlenmesinin yanı sıra toprak mikrobiyal biyokütle karbonu ve toprak solunumu çevresel faktörlerin toprak organizmaları üzerine etkilerinin anlaşılması, doğal koşullar veya insan aktivitelerine maruz topraklarda karbon, azot, fosfor gibi temel besin maddeleri döngülerinin izlenmesi ve yine toprağa ilave edilen organik atıkların toprak ekosistemi üzerindeki etkilerinin izlenmesi gibi konularda sıklıkla başvuru parametrelerdir.

Bu tez çalışmasında, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından başlatılan “Türkiye İçin AB Direktifleri ile Uyumlu Çevre Teknolojileri: Evsel/Kentsel Arıtma Çamurlarının Yönetimi” başlıklı 108G167 numaralı KAMAG projesi kapsamında toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ağır metal kapsamına etkileri üzerine yapılan çalışmalara ilave olarak arıtma çamurlarının toprağın biyokimyasal özelliklerinde meydana getirecek değişimlerin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla kurulan inkübasyon, sera ve tarla denemelerinde farklı arıtma çamurlarının toprağın beta glukosidaz (karbon döngüsü enzimi) enzim aktivitesi, mikrobiyal biyokütle karbonu ve toprak solunumu

(CO₂ çıkışı) üzerine etkileri araştırılmıştır. Söz konusu KAMAG projesinde doktora tezi sahibi Shima Farasat bursiyer olarak görev almıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Dünyada ve Türkiye’de Arıtma Çamuru Kullanımı

Su ile birlikte taşınan kirletici unsurların yoğun toplandığı ve “arıtma çamuru” olarak tanımlanan katı maddelerin işlenmesi ve çevreye en az zarar verecek biçimde uzaklaştırılması atıksu arıtma kadar önem taşımaktadır. Son yıllarda atık su arıtım konusu yapılan çevre yatırımları ile birlikte atık çamur işlenmesi ve bertaraf edilmesi problemi gerek teknolojik gerekse Avrupa Birliği uyum sürecinde yapılan yasal mevzuat düzenlemeleri ile birlikte üzerinde hassasiyet gösterilen bir konu haline gelmiştir. Arıtma tesislerinde su ve atıksu arıtımı sonucu oluşan arıtma çamuru’nun, uygun arıtma işlemlerinden geçirilip çevre sağlığı kriterlerini yerine getirerek bertaraf edilmesi esastır. Arıtım, iletim, depolama, arazide kullanım amaçlarına yönelik olarak yüksek katı madde içeriğine sahip arıtma çamuru’nun doğrudan tesisten uzaklaştırılmaması veya tesis içi döngüye alınamaması gibi nedenlerden dolayı çamur yönetimi, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de gittikçe artan bir öneme sahiptir. Arıtma çamuru’nun çeşitli kaynakları vardır ve bu çamurlar nitelik ve niceliksel olarak farklılıklar göstermektedir. Arıtma çamurunun miktarı, atıksu kirlilik derecesine ve karakteristiğine, arıtma tesisinde uygulanan işlemlere (fiziksel, fizikokimyasal, biyolojik vb.) ve arıtmanın kalitesine bağlıdır. Arıtma tesislerinde, arıtma çamurunun işlenmesi ve uzaklaştırılması amacıyla uygulanan işlemler çoğu kez yetersiz kalmaktadır. Türkiye son yıllarda Avrupa Birliği (AB) uyum süreci kapsamında yasal yönden yeni düzenlemelerle oldukça önemli adımlar atmış ve çevre konusunda öncelikle alanlarını belirlemiştir (AB Gereklere Uyum Süreci Ulusal Programı, Resmi Gazete no: 25178, 24.07.2003). Burada çamur yönetimi konusunda yapılacak çalışmalar öncelikle çalışma alanı listesinde yer almaktadır.

Dünya’da çamurun faydalı kullanımına yönelik tarımda kullanımı, tek başına veya ek yakıt olarak yakılması, düzenli depolama alanlarında üst örtü malzemesi olarak serilmesi, tarımsal alana, ormanlık alana, rekreasyon alanlarına veya ıslah alanlarına serilmesi ve yüzeyde bertarafı uygulamaları, maden sahalarının iyileştirilmesi, kirlenmiş topraklar ile karıştırılması ve adsorban olarak kullanımı şeklinde uygulamalar oldukça

geniş kapsamda ele alınmaktadır (Chang vd. 2002). Araştırmacılar Dünya’da arıtma çamurlarının giderim oranlarını çizelge 2.1’de verildiği şekilde olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 2.1 Bazı ülkelerde arıtma çamurlarının giderim oranları (Chang vd. 2002).

Ülke	%			
	Tarım	Düzenli Depolama	Yakma	Diğer
Avusturya	13	56	31	0
Belçika	31	56	9	4
Danimarka	37	33	28	2
Fransa	50	50	0	0
Almanya	25	63	12	0
Yunanistan	3	67	0	0
İrlanda	28	18	0	54
İtalya	34	55	11	0
Lüksemburg	81	18	0	1
Hollanda	44	53	3	0
Portekiz	80	13	0	7
İspanya	10	50	10	30
İsviçre	30	20	0	50
İngiltere	51	16	5	28
ABD	36	38	16	10
Toplam	38	43	10	9

Çamur yönetimi konusunda farklı ülkelerde arıtma çamurlarının depolanabilirliğine ilişkin olarak uygulamadaki yönetmelikler incelendiğinde, bu konuda özel hükümlere rastlanmamaktadır. AB Düzenli Depolama Direktifine göre, AB üyesi ülkelerin mevcut katı atık depolama sahalarını, Temmuz 2009 itibari ile standartlara uyum sağlayacak şekilde iyileştirmeleri veya kapatmaları gerekmektedir. Direktif, belediye atığı, tehlikeli atık, tehlikeli olmayan atık, biyolojik bozunabilir atık ve inert atık olarak atığı

kategorilere ayırmakta ve atık depolama çeşitlerinden bahsetmektedir. Bu direktifte üç tip depolama türünden bahsedilmektedir. Tehlikeli atıkların depolanması, tehlikeli olmayan atıkların depolanması ve inert atıkların depolanması. Bu depolama çeşitlerinin birlikte kullanılması yasaklanmıştır. Bu direktif, arıtma çamurunun ve gübreleme ya da toprağı iyileştirme amaçları Sonucunda oluşan arıtma çamurunun çevreye yayılmasını veya dağıtılmasını kapsamamaktadır (Anonim 2010 b).

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelikte AB direktifi ile aynı 3 depolama çeşidi belirtilmiştir. Türkiye son Yönetmenliğine göre düzenli depolama sahalarında depolanacak biyobozunur atık miktarı, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunur atık miktarının ağırlıkça 2015 yılında %75 'ine,2018 yılında%50 'sine,2025 yılında %35'ine azaltılması gerekmektedir. Yönetmeliğin bu yönü ile Türkiyede arıtma çamurları için yoğun olarak uygulanan depolama yöntemine yakın gelecekte önemli bir kısıtlama yaratacağı dikkat çekmektedir (Anonim 2010a).

Çamur yönetimi konusunda farklı ülkelerdeki yönetmelikler incelendiğinde, bunların çoğunda arıtma çamurlarının toprağı uygulanması konusundaki yasal düzenlemelerin diğer uygulamalara kıyasla daha kapsamlı şekilde geliştirildiğı görölmektedir. Atıksu çamurlarının tarımsal amaçlarla yüksek miktarlarda kullanımı Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'daki yönetmeliklerin daha sıkı gelmesine neden olmuştur. Bu kapsamda mevzuatı incelenen ülkelerde arıtılmamış ham çamurun toprağı uygulanmasına izin verilmediğı de görölmektedir. Yönetmeliklerin genel yapısı ve kapsanan hususlar incelendiğinde birkaç grup kirleticinin yönetmeliklerde sınır değerler konarak içerildiğı ve bunların büyük oranda ağır metaller, patojen/indikator mikroorganizmalar ve bazılarında organik kirleticiler olduğı görölmektedir. Bu yönetmeliklerde çamurun içerisinde bulunan ve hastalıkların yayılmasına neden olabilecek bazı organizmaları çekebilecek besin vb. içeriğinin azaltılmasına yönelik bazı gereklilikler de tanımlanmaktadır. Ayrıca, arıtma çamurunun ve çamurun uygulanacağı toprağın ağır metal içerikleri dikkate alınarak, arıtma çamuru uygulaması yapılan arazi kullanımına ilişkin de sınırlamalar getirilmiştir (Anonymous 1994, AB 2001, Anonim 2010b).

Arıtma çamurlarının yakılarak bertarafı için bazı ülkelerde yönetmeliğin sadece çamurun yakılması (tek başına veya ek yakıt olarak) üzerine yapılarak buna özel ilgili hükümlerin getirildiği, Türkiye'de ve AB'de ise yönetmeliğin yakılabilecek atıkların genel olarak kapsandığı atık yakma üzerine oluşturulduğu, arıtma çamurlarına özel hükümlerin bulunmadığı ve hepsinde emisyonlar için sınır değerler yer almaktadır (Anonymous 1994, Anonymous 2001).

Farklı ülkelerdeki atık depolamaya ilişkin uygulamadaki yönetmelikler incelendiğinde ise arıtma çamurlarının depolanabilirliği konusunda özel Hükümlere rastlanmamaktadır. AB ve Türkiye mevzuatlarında ise katı atık depolama sahaları çeşitli sınıflara ayrılmaktadır (Anonymous 1994, AB 2001, Anonim 2010a).

AB Düzenli Depolama Direktifine (1999) göre, AB üyesi ülkelerin mevcut Katı atık depolama sahalarını, Temmuz 2009 itibarı ile standartlara uyum sağlayacak şekilde iyileştirmeleri veya kapatmaları gerekmektedir. Direktif, belediye atığı, tehlikeli atık, tehlikeli olmayan atık, biyolojik bozunabilir atık ve inert atık olarak atığı, kategorilere ayırmakta ve atık depolama çeşitlerinden bahsetmektedir. Yakın gelecekte Türkiye'deki yıllık 12 milyon tona ulaşacak arıtma çamurlarının yeni bir çevresel sorun olmadan değerlendirilmesi ve yöntemler geliştirilmesi ve bu yatırımlar için öz kaynak yaratması merkezi ve yerel yönetimlerin önemli görevleri arasındadır (Arslanoğlu ve Koçer 2005).

Arıtma çamurlarının tarımda ve peyzaj düzenlemede problemsiz olarak kullanılabilmesi için, ağır metal ve benzeri kirleticileri ve patojen mikroorganizmaları yönetmeliklerle belirlenen sınır değerlerin üzerinde içermemesi gerekmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde arıtma çamurlarındaki patojenlerin, insan ve hayvan temasından önce kabul edilebilir düzeylere indirilmesi için kullanılan standartlar Çevre Koruma Ajansı (U.S.EPA 1994) tarafından ortaya konan yöntemlikte ele alınmıştır. 1993 yılında yürürlük çamurları A sınıfı (doğrudan temas için güvenli) ve B sınıfı (arazide bitkisel üretimde kısıtlı kullanım) olmak üzere iki kategoriye ayırmıştır. U.S.EPA ve AB standartlarına göre tarım alanlarında kullanılacak arıtma çamurlarında izin verilebilen patojen mikroorganizma sayısı çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Tarım alanlarında kullanılacak arıtma çamurları için U.S.EPA ve AB standartlardaki patojen sınır değerlerinin karşılaştırılması (Anonymous 1994 “U.S.EPA ,86/278/EC”)

Patojen Mikroorganizmalar	U.S.EPA Standartları	AB Standartları
<i>Salmonella sp.*</i>	<3 MPN/4g	<i>Salmonella sp.</i> Yok/50gr
Fekal koliformlar*	<1000 MPN/g	
Enterik virüsler*	1 PFU/4g	
Fekal koliform yoğunluğu**	<2.10 ⁶ MPN/g	
<i>Helminth ova*</i>	<1 adet /4g	
<i>Escherichia coli</i>		<1000 g ⁻¹
<i>Clostridium perfringens</i> sporları		< 3000 g ⁻¹

*US EPA A Sınıfı arıtma çamuru

** US EPA B Sınıfı arıtma çamuru

MPN: Most Probable Number (En Muhtemel Sayı)

PFU: Plaque Forming Unit (Virüs Plak Oluşturma Sayısı)

A Sınıfı arıtma çamurları en iyi malzeme olup, patojen içermezler. Ayrıca parazitler için çekim alanı oluşturmayan ve içeriğindeki ağır metal seviyesi düşük olan arıtma çamurlarıdır. “Üstün nitelikli A sınıf arıtma çamuru” etiketi alırlar. Bu malzeme toprağı gereksiz yere ağır metallerle yüklediğı gibi, depolama ve kullanım sırasında da sorun çıkarmaz (Anonymous, 1994). Üstün nitelikli A sınıfı malzemenin hiç bir izne tabi olmadan tarlada kullanımı mümkündür. B sınıfı arıtma çamurları ise patojenler açısından tam olarak temiz değildir. Bu nedenle toplumun ulaştığı yerlerde depolanamaz, kullanılamaz ve alınan ürünler bakımından sınırlama getirilmiştir. Bu malzeme için uygulama easnasında ayrıca kireçle tampon yapılması gerekir (Chang vd. 2002).

Anonymous (1993), halk sağlığına ve çevresel etmenlere risk oluşturabilecek arıtma çamuru kaynaklı inorganik kirleticileri ile ilgili risk yollarını çizelge 2.3’deki gibi açıklamıştır. Bu açıklama NSSS (National Sewage Sludge Survey) tarafından yapılan ve 209 ayrı çamur üretim tesisinin çamurlarında ele alınan özelliklere göre yapılan değerlendirmelere dayandırılmıştır.

Çizelge 2.3 U.S. Enviromental Protection Agency (1993) halk sağlığı risk unsurları

Kirletici ve Ort. Miktarı (mg kg⁻¹)	Etkileme Şekli	Kirliliğin Haraket Yolu
Cd 6.94	Çocuk-Beslenme	Çamur-Toprak-Çocuk
Cu 741	Bitki-Beslenme	Çamur-Toprak-Bitki
Ni 42.7	Bitki –Beslenme	Çamur-Toprak-Bitki
Pb 134.4	Çocuk-Beslenme	Çamur-Toprak-Çocuk
Zn 1202	Bitki –Beslenme	Çamur-Toprak-Bitki

Arıtma çamuru uygulanacak topraklarda izin verilen ağır metal sınır değerleri çizelge 2.4’de, tarım alanlarında kullanılacak arıtma çamurları için ABD, Avrupa Birliği ülkeleri ile Türkiye’de izin verilen ağır metal sınır değerleri çizelge 2.5’de ve 10 yıllık ortalamalar esas alınarak bir yılda toprağa verilebilecek ağır metal miktarları çizelge 2.6’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Arıtma çamuru uygulanacak topraklarda izin verilen ağır metal sınır değerleri (mg/kg kuru toprak) (Bilgin vd. 2002)

Element	TKKY (Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği)		86/278/EEC (AB-AvrupaBirliği Yönetmeliği)		AB Taslak Yönetmelik		
	pH<6	pH>6	pH<6	pH>6	5≤pH<6	5<pH≤6	pH≥7
Kadmiyum (Cd)	1	3	1	3	0.5	1	1.5
Krom (Cr)	100	100	100	100	30	60	100
Bakır (Cu)	50	140	50	140	20	50	100
Civa (Hg)	1	1.5	1	1.5	0.1	0.5	1
Kurşun (Pb)	50	300	50	300	70	70	100
Çinko (Zn)	150	300	150	300	60	150	200

Çizelge 2.5 Tarım alanlarında kullanılacak arıtma çamurları için ABD, Avrupa Birliğe bağlı bazı Avrupa ülkeleri ile Türkiye'de izin verilen ağır metal sınır değerleri (U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 1994, Kirliliğinin kontrolü Yönetmeliğinde (TKKY) 2005).

Ülke	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg	As	Mo	Se
ABD (EPA) 1	300	39	200	1500	420	2800	17	41		100
ABD (EPA) 2	840	85	3000	4300	420	7500	57	75	75	100
A.B.3	750	20		1000	300	2500	16	-	-	-
A.B.4	1200	40		1750	400	4000	25	-	-	-
A.B.5	750	10	1000	1000	300	2500	10	-	-	-
A.B.6	500	5	800	800	200	2000	5	-	-	-
A.B.7	200	2	600	600	100	1500	2	-	-	-
Almanya	900	10	900	800	200	2500	8	-	-	-
İsveç	100	2	100	600	50	800	2.5	-	-	-
Norveç	80	2	100	650	50	800	3	-	-	-
Danimarka	120	0.8	100	1000	50	4000	0.8	25		
Hollanda	100	1.25	75	75	30	300	0.75	25		
Türkiye 8	1200	20	1200	1200	200	3000	25	-	-	-
Türkiye 9	1200	40	1200	1750	400	4000	25	-	-	-
Türkiye 10	2000	33	2000	2000	330	5000	42	-	-	-
Türkiye 11	1500	15	1500	1200	300	3000	10	-	-	-

1. Arıtma çamurunun bütün değerleri bu değerlerin altında ise sınırsız kullanım (A sın. Art. Çam.) (U.S.EPA, 1994)
2. Sınırlı kullanım. Yılda belli bir yükleme oranını geçemez (B sınıfı arıtma çamuru) (U.S.EPA, 1994)
3. Topluluğa üye ülkelerde izin verilen en yüksek değer (86/278/EEC)
4. Topluluğa üye ülkelerde tavsiye edilen maksimum değerler (86/278/EEC)
5. AB taslak Yönetmelikte 2000 yılında önerilen limit
6. AB taslak Yönetmelikte orta vadede limit (2015)
7. AB Taslak Yönetmelikte uzun vadede limit (2025)
8. Tarımda kullanılacak arıtma çamurunda izin verilen maksimum ağır metal içeriği (KAKY,1991)
9. Toprakta kullanılabilecek arıtma çamurunda izin verilen maksimum ağır metal içeriği (TKKY,2005)
10. Bir yılda araziye verilmesine izin verilen ağır metal içeriği (KAKY,1991)
11. Toprakta on yıllık dönem dikkate alınarak bir yılda verilmesine izin verilen ağır metal yükü (TKKY, 2005).

Çizelge 2.6 On (10) yıllık ortalamalar esas alınarak bir yılda toprağa verilebilecek ağır metal miktarları (g kuru madde/da/yıl) (Bilgin vd. 2002)

Element	TKKY (Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği)	86/278/EEC(AB- Avrupa Birliği Yönetmeliği)	AB Taslak Yönetmelik		
			Önerilen	Orta Vade	Kısa Vade
Kadmiyum (Cd)	15	15	3	1.5	0.6
Krom (Cr)	1500	-	300	240	180
Bakır (Cu)	1200	1200	300	240	180
Civa(Hg)	10	10	3	1.5	0.6
Nikel (Ni)	300	300	90	60	30
Kurşun (Pb)	1500	1500	225	150	60
Çinko (Zn)	3000	3000	750	600	450

Türkiyede 10 Aralık 2001 tarih ve 24609 sayılı resmi gazetede yayınlanan Toprak Kirliliğinin kontrolü Yöntemliğinde (TKKY), evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atıksuların arıtılması sonucu ortaya çıkan arıtma çamurlarının toprakta kullanımı ile ilgili bazı esaslar belirlenmiştir. Söz konusu yöntemlikte, halk sağlığın korunması açısından sadece ham çamurların (stabilize edilmemiş) sebze ve meyve tarımında, tarla, orman, mera ve otlak alanlarda kullanılmasının ve işlenmiş arıtma çamurlarının toprakla temas eden ve çiğ olarak yenen sebze ve meyvelerin yetiştirilmesinde kullanımının neler olduğu, arıtma çamurlarına uygulanan stabilizasyon yöntemlerinin hangi bakteriyel ve parazitler standartları sağlaması gerektiği gibi konular yer almamıştır (Anonim 2001).

Alıcı ortam olarak toprak kirlenmesinin önlenmesi, kirliliğin giderilmesi,” arıtma çamurlarının ve kompostun tarımda kullanımı” için gerekli tedbirlerin alınması esaslarını sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu şekilde ortaya koymayı amaçlayan Çevre ve Orman Bakanlığı, 31 Mayıs 2005 tarih ve 25831 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan yeni bir yöntemlik hazırlamıştır. Yeni yönetmeliğe göre, arıtma çamurlarının, stabil arıtma çamuru ve kompostun kullanımına ilişkin yönetmelikler yeniden düzenlenmiş, 2001 tarih ve 24609 sayılı TKKY’nin yürürlükten kalktığı belirtilmiştir. Yönetmelikte, alıcı ortam olarak toprakların kirlenmesinin önlenmesi ve kirliliğin giderilmesi için gerekli tedbirlerin alınması esasları olarak sadece ağır metal

konsantrasyonu sınırlamalar ortaya konmuştur. Patojen kontrolü için herhangi bir düzenleme bu yöntemlikte de bulunmamaktadır. Buna göre, ham arıtma çamurunun toprakta kullanılması yasaklanmıştır. Evsel ve evsel nitelikli endüstri sularının arıtılması sonucu elde edilen ve çizelge 2.3’de verilen sınır değerleri aşmayan işlenmiş arıtma çamurunun toprakta kullanılabilmesi için, arıtma tesisini işleten özel ve resmi kuruluşların, toprakta kullanılacak olan işlenmiş arıtma çamurunda söz konusu analizleri (mg/kg fırın kuru toprak olarak kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel, civa, çinko, azot, fosfor, pH ve dS/cm olarak elektriksel iletkenlik (EC), C/N, kuru madde, yanma kaybı), günlük kuru çamur miktarı 50 ton’a kadar olanların 6 ayda bir, 50 ton’un üzerinde olanların ise 3 ayda bir belgeleyerek Bakanlıktan kullanıma sunacağı arıtma çamuru için “Arıtma Çamuru Kullanımı İzin Belgesi” talebinde bulunması gerekmektedir. Başvuru Bakanlıkça değerlendirilmekte ve uygun şartların sağlanması durumunda “İzin Belgesi” bir yıllığa verilmektedir. İşlenmiş arıtma çamurlarının tarım ve orman alanlarında kullanımına yönelik yapılan başvurularda ilgi kurum ve kuruluşların “uygun” görüşünün alınacağı da yönetmelikte belirtilmektedir. (Anonim 2005).

İşlenmiş arıtma çamurunun, toprakta kullanılabilmesi için çizelge 2.4 ‘de verilen değerleri aşmaması, işlenmiş arıtma çamuruun toprakta 10 yıllık dönemde her yıl uygulanması halinde ise toprağa verilebilecek maksimum ağır metal miktarlarının çizelge 2.2’de verilen değerlerden fazla olmaması gerekmektedir. Toprağın pH değeri 5 ‘ten küçükse stabilize arıtma çamuru toprağa uygulanamaz. Ayrıca işlenmiş arıtma çamurlarının, içme suyu havazalarının mutlak koruma alanlarından, diğer yüzey suları ve sulaş alanlardan en az 50 metreden yakın olan alanlara ve su baskını olan bölgeler ile don ve karla kaplı alanlarda araziye uygulanması yasaktır. Stabilize arıtma çamurunun meyve ağaçları hariç olmak üzere toprağa temas eden ve çığ olarak yenilen meyve ve sebze ürünlerinin yetiştirilmesi amacıyla kullanılan topraklarda kullanılması yasaktır.

Anonim (2005)’e göre toprakta kullanılabilen arıtma çamurunda izin verilen maksimum ağır metal içeriklerinin AB’ye üye ülkelerde tavsiye edilen maksimum

değerler ile aynı olduğu ancak AB standartlarında (86/278/EEC) Cr'un bulunmadığı dikkati çekmektedir.

Çevre ve Orman Bakanlığı, 3 Ağustos 2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan yeni bir yöntemlik hazırlamıştır. Arıtma çamurlarının toprakta kullanımında gerekli tedbirlerin alınması esaslarını sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde belirlemek amacıyla Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair 2010 yılında Yönetmelik çıkarılmıştır.

Yürütülmekte olan 108G167 numaralı KAMAG projesi kapsamında da mevcut yönetmeliğin revizyonu söz konusudur.

TÜİK (2004) verilerine göre, 70 milyon nüfuslu Türkiye'de 16 Büyükşehir Belediyesi, 3200'den fazla Belediye ve 37.000'den fazla köy yerleşim birimi bulunmaktadır. Bu yerleşimlerde kanalizasyon hizmeti verilen nüfus oranı %63'dur. Bu oran belediye olan yerleşimlerde %78'e kadar çıkmaktadır. 2001 yılı itibarıyla üretilen 4.400 Mm³ atıksuyun %64'ü kanalizasyon şebekesi ile toplanmaktadır. 2004 yılı verilerinde yıllık 3055 Mm³'lük toplam kapasitesiyle sahip faaliyette olan arıtma tesislerinin sayısı %65'dir. Bu atık su arıtma tesislerinin %91'i fiziksel ve biyolojik arıtma ünitelerine sahipken, az sayıda tesis ise arıtma ünitelerine sahiptir. 2004 yılı TÜİK verileri dikkate alınarak atıksu arıtma tesisleri ile hizmet verilen nüfusun toplam nüfusa oranı %37 'dir. Kişi başı 60 g katı madde/gün miktarı dikkate alınarak, evsel /kentsel kaynaklı günlük 1600 ton arıtma çamuru üretildiği tahmin edilmektedir. Üretilen bu çamurların önemli bir miktarı belediye kat atık depolama tesislerinde bertaraf edilmektedir. Arıtma çamurunun düzenli depolaması bertaraf alternatifleri arasında en az karmaşık, uygulaması en kolay ve bazen de en ucuz alternatif olarak değerlendirmektedir. Evsel/kentsel arıtma çamuru içeriğindeki değerli besin elementleri, ısı değeri gibi özellikleri dikkate alındığında yararlı kullanım alternatifleri olan bir hammaddedir. Ancak düzenli depolama, atık çamurdaki kaynak olarak nitelenen bu özelliklerden faydalanılmasını engellemektedir. Ayrıca hızla azalmakta olan depolama sahaları ve depolama alternatifine karşı halk/kamuoyu tepkisi bu alternatifi çekici olmaktan uzaklaştırmaktadır. Bu unsurlar dikkate alındığında bir hammadde ve enerji kaynağı

olarak Arıtma çamurunu Türkiye koşullarına uygun yararlı kullanım alternatiflerinin (tarımsal amaçlı kullanımı, ek yakıt olarak kullanılması vb.) belirlenerek Türkiye ekonomisine kazandırılması önem taşımaktadır.

2.2 Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanımı

Tipik olarak arıtma çamurları organik karakterlidir (~ %40-60). Ayrıca azot (%3), fosfor (%2), potasyum (%0.5) gibi tarıma faydalı olan besin maddelerini de içermektedir. Arıtma çamurları makro besin maddelerinin (N,P,K) yanı sıra, bazı mikro besin maddelerini de (Fe, Zn, Mn, Mo, Cu, B) içerirler (Banerjee vd. 1997,Gupta vd. 2006, Smith ve Cade-Menun 2006). Bu nedenle kullanıldıkları alanlarda ticari gübre kullanımı azalmakta ya da kısmen ticari gübrelerin yerini almaktadır. Arıtma süreçlerinin sonunda arıtma çamuru içinde halen kalmış olan bu besin elementleri ve organik maddeler çamurun gübre ya da toprak iyileştirici olarak toprağa verilmesinin en önemli bertaraf rotalarından biri olmasını sağlamıştır. Bu uygulama arıtma çamurnu bir “Atık madde” yerine “kullanılabilir kaynak”olarak görmekte ve ABD ve Kanada gibi birçok ülkede en önemli bertaraf yöntemi olarak kullanılmaktadır. Arıtma çamurunun tarım arazilerine uygulanması, besin meddelerinin yeniden kazanımına ve arıtma çamurunun bertaraf edilmesine imkan sağladığından hem sürdürülebilir hem de ekonomik bir yöntemdir (Laternus vd. 2007).

Toprağın organik maddece zengileşmesini sağlamak, su tutma özelliğini iyileştirmek, toprağa azot ve fosfor gibi besin/gübre elementlerini vermek bu uygulamanın en önemli avantajlarıdır. Bu konu üzerinde farklı ülkelerdeki pek çok araştırmacı ayrıntılı çalışmalar yürütmektedir (Zufiaurre vd. 1998, Nguyen 2005, Singh vd. 2004,Laternus vd. 2007, Kocaer 2001,Gasco ve Lobo 2007, Takachi vd. 2007,Schowanek vd. 2007). Türkiyede bir tarım ülkesi olduğu ve topraklarının genel anlamda organik maddece fakir olduğu düşünüldüğünde arıtma çamurunun tarım amaçlı kullanımının Türkiye için de önemli bir alternatif ve arıtma çamurunun bertarafı için de ekonomik bir uygulama oluşturabileceği açıktır. Literatür çalışmaları arıtma çamuru uygulamalarının toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini, toprağın havalanmasında olumlu etkisi olduğunu, su tutma kapasitesini geliştirdiğini (Wong vd. 2001), toprağın katyon değiştirme

kapasitesini ve organik madde içeriğini artırdığını ve erezyonu önlediğini göstermiştir (Franco-Hernandez vd. 2003).

Magodoff ve Amadon (1980), aerobik arıtımın ikinci kademesinden çıkan arıtma çamurunu kumlu tınlı ve kumlu toprak koşullarında mısır bitkisine uygulayarak azot verimliliğini araştırmışlardır. Sıvı çamurların esas itibarıyla azot, amonyum ve organik N formlarında bulunmakta ve belirli koşullar altında önemli miktarlarda buharlaşma ile kayba uğramaktadır. Bu nedenle arıtma çamurunun bitkiye verimliliğinin araştırılmasından azot verimliliği açısından da test edilmesi araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Ancak kentsel atıksularının arttığı tesisleri endüstrilerin de ön arıtım sonrası atıksularını deşarj etmesi ağır metallerin ve birtakım sentetik organik kirleticilerin arıtma çamurunda birikmelerine sebep olabilmektedir. Ayrıca arıtım sürecinde biyolojik kirleticilerin (patojen bakteriler ve parazitik organizma yumurtaları vb) de çamurda yoğunlaşması söz konusudur (Arden 1997). Tüm bu kirleticilerin çamurdan toprağa verilmesinde risklerin de göz önünde bulundurulması gerekir (Laturnus vd. 2007, Fytli ve Zabaniotou 2008, Schwanek vd. 2004, Bengtsson ve Tillman 2004).

Arıtma çamur uygulamalarının bitki gelişimi üzerine olumlu etkileri belirlenmiştir. Lerch vd. (1990), atık çamurların tarım alanlarında (kuru tarım, kışlık buğday) uygulama oranlarının neler olabileceğini araştırmışlardır. Araştırmacılar kurak koşullarda kışlık buğday-nadas amanjman sisteminde 3 ton acre⁻¹ (741,3 kgda⁻¹) arıtma çamurunun maksimum emniyet düzeyi olduğunu ve bu düzeyin yüksek uygulama oranlarında gözlenen ağır metal birikmesi ve nitrat kirliliği sorunları olmaksızın bitkilere N, P sağladığını ve ayrıca buğdayda tanesinin protein miktarını olumlu etkilediğini belirtmişlerdir.

Alloway ve Jackson (1991), arıtma çamuru uygulanmış topraklarda ağır metallerin davranışı ile ilgili yayınlarında, arıtma çamuru kaynaklı ağır metallerin toprakta birikimi ile bitkiler tarafından metallerin biyoalınabilirlikleri arasında ilişki olduğunu, toprak mikroorganizma aktivitelerinin benzer ilişki gösterdiğini ve her iki ilişkinin de toprak özellikleri ile etkilendiklerini belirtmişlerdir. Toprak özellikleri ile bitkinin metal

kaldırması arasındaki ilişkilere de değinilen araştırmada toprak pH'sı, toprakta metal miktar ve cinslerinin dağılımı, organik madde, hidrozo oksitler, toprak karbonatları ve kasyon değıştircilerin durumuna bağımlı olarak metal alınımının etkilendiğı belirtilmiştir.

ABD Çevre Koruma Ajansı (US EPA), 1993 yılında arıtma çamurunun kullanımı ve bertaraf edilmesinde uygulanacak standartların belirlendiğı bir yöntemlik çıkarmıştır. Bu yönetmelikte başlıca iki grup kirlenici için limitler belirlenmiştir. Bunlar ağır metaller ve patojenlerdir (fekal koliform, Salmonella bakterisi, enterik virüsler, helminth ova vb). Bu yöntemlik maddeleri ve kısıtlamalar çoklu ortamlar (multimedya) için gerçekleştirilmiş olan detaylı risk değeriendirilmesi çalışmaları sonuçlarına dayanmaktadır ve toplum sağığı ve çevre açısından yeterli derecede koruma sağlamaktadır (Anonymous , 1994).

Türkiye topraklarının organik madde içerikleri genel olarak düşüktür. Öncelikle ahır gübresi olmak üzere, farklı kökenli organik materyaller toprağı uygulanarak, toprak özellikleri iyileştirilmeye ve organik madde nicelikleri artırılmaya çalışmaktadır. Ahır gübresinin yeterince bulunamayışı, organik madde kaynağı ve toprak düzenleyici olarak organik maddece zengin diğeri kaynakların kullanılması üzerine çalışmaların yapılmasına neden olmuştur (Kütük vd. 1995, Okur ve Delibacak 1996). Genellikle toprağın organik madde içeriğini artırma ve buna bağılı olarak ürün yetiştirilen alanlarda toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmek için ürün atıkları ahır gübresi, torf, orman altında biriken yapraklar ve kompost haline getirilen organik atıklar toprağı karıştırılır (Stratton vd. 1995).

Pedreno vd. (1996), domates yetiştiriciliğinde arıtma çamur uygulamasının olumlu etkilerinin diğeri organik gübrelerden farklı olmadığını ortaya koymuşlardır. Arıtma çamuru, bitki besin maddesi olarak önemli miktarlarda azot, fosfor ve iz elementler içerebilir. Ayrıca, araştırmacılar atık çamurunun toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmede kullanılabileceğini de bildirmektedir.

Vesilind ve Spinosa (2001)'e göre, son yıllarda arıtma çamurunun bir daha kullanılmamak üzere giderimi yerine, tekrar yaşam döngüsüne katılması önem kazanmaya başlamıştır. Arıtma çamurunun yeniden kullanım olanakları arasında tarım alanlarında, toprak ıslahında, yeşil alanlarda, ağaçlandırma ve orman alanlarında kullanımı sayılabilir.

Organik madde içeriği yüksek olan kaynaklardan birisi de atık su arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurudur. Arıtma çamuru, farklı ülkelerde 20-30 yıldır yaygın olarak tarım alanlarında kullanılmaktadır. İçeriğindeki yüksek organik madde ve bitki besin elementleri ile maliyetinin ucuz olması, bitkisel üretimde ticari gübrelerin yerine girebilecek bir materyal olmasını sağlamaktadır. Arıtma çamurunun tarım topraklarında uygulanmasının yararlı etkileri ile ilgili yapılan birçok araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, arıtma çamuru uygulamasının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir (Aggelides ve Londra, 2000, Benitez vd., 2001, Selivanovskaya vd., 2001). Arıtma çamurunun bitki besin maddesi içeriğine bağlı olarak, bitkinin canlı kütle niceliği ve ürün artmaktadır (Brofas vd. 2000, Cogger vd. 2001).

Flustos vd. (2000), yaptıkları çalışmada dokuz farklı toprakta arıtma çamuru uygulanmasının ıspanak, yulaf ve mısırdaki Cd ve Ni 'in akümüasyonlarını incelemişlerdir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, bitkilerin tamamında biyokütle artışı olduğunu, bu artışların Fluvisollerde en az, Çernozyemlerde ve Luvisollerde önemli derecede yüksek olduğunu ve Kambisollerde değişken olduğunu belirtmişlerdir. Bitkilerin metal almaları açısından topraklara ve bitki çeşidine göre alımlar olduğunu, bunlardan da ıspanağın Fluvisoller ve Kambisollerde en yüksek Cd kaldıran bitki olduğu diğer bitkilerde de metal konsantrasyonlarında artışlar olduğunu belirtmişlerdir. Yukarıda bahsi geçen ağır matallere ek olarak iz organik kirleticilerin de toprakta birikebileceği, bitkiler tarafından topraktan alınabileceği ve besin zinciri sayesinde insanlara ulaşabileceği konusunda endişeler mevcuttur (Laternus vd. 2007).

Tarım arazilerine uygulanan arıtma çamurularından kaynaklanacak uçucu kirleticilerin buharlaşarak tarlalarda çalışan çiftçilerin sağlıklarına zarar verme potansiyelleri de

vardır. Hatta bunlara ek olarak arıtma çamurlardaki kirleticilerin yağmur ve sulama suyu ile yeraltı suyuna sızma ve bu yeraltı suyunu içme suyu olarak kullanan insanlara zarar verme riski de bulunmaktadır. Dolayısıyla arıtma çamuru tarım arazisine uygulanmadan önce detaylı karakterizasyonu yapılmalı ve çamurdaki mevcut kirlecilerin hem tarım arazisinde çalışan çiftçilerin hem de civarında yaşayan insanlara ulaşabileceği tüm potansiyel maruziyet yolları göz alınarak insan sağlığı üzerindeki riskleri hesaplanmalıdır (Anonymous 1995).

Bozkurt vd. (2002), kentsel arıtma çamurunun kışlık arpada azot kaynağı olarak kullanılmasına yönelik yaptıkları çalışmada inorganik azotlu gübre ile arıtma çamurunu karşılaştırmışlar ve bütün uygulamalarda kontrole göre bitkide azot içeriği ve alımının arttığını, bu artışın arıtma çamuru uygulamalarında daha fazla olduğunu, arıtma çamurları uygulanan bitkilerde tanede P, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonlarının arttığı ancak toprakta sadece Zn ve Cu miktarlarında arıtma olduğunu ve toksik düzeyin altında kaldığını belirtmişlerdir.

Bilgin ve Eyüpoğlu (2002)'ye göre, atık çamur uygulanan topraklarda kadmiyum, bakır, nikel ve çinkonun biyolojik olarak bulunabilirliğinin, kurşun, civa ve kromdan daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ancak mobil elementler için bile atık çamur ile her yıl eklenen metal miktarının %0,05' inden daha küçük bir bölümünün ürüne geçtiği belirtilmektedir. Aynı zamanda atık çamurlar diğer ağır metal içeren kaynakların çoğundan farklı bir özelliğe sahiptir, bu da atık çamurun önemli oranda organik madde, demir ve mangan gibi adsorbif maddeleri bünyesinde bulundurmasıdır.

Atık çamur ve gıda atıklarının toprağa uygulanmasının bitki gelişmesini önemli ölçüde artırdığı Wang vd. (2003) tarafından belirtilmektedir. Arıtma çamurunun değişik formları birçok ülkede yaygın olarak arazi uygulamalarında kullanılmaktadır. Anonymous (1999)'ya göre, 1998 yılında ABD'de ortaya çıkan arıtma çamurunun %41'i araziye uygulanmıştır. Bunun yanında, uzun dönem arıtma çamur uygulamaları toprakta ağır metal ve zararlı patojenlerin birikmesine neden olabilir. Patojenleri bertaraf etmek için arıtma çamuruna kireç ilave edilerek pH'nın artırılması ya da termal işlemler gibi uygulamalar kullanılmaktadır (Weemaesved Verstraete 2001).

Toprakta bulunan besinler (organik maddeler) de ağır metallerin bitkiler tarafından alınımını etkilemektedir. Atık çamur uygulamasından sonra çamurdan gelen ağır metallerin biyolojik mevcudiyeti hakkında iki hipotez vardır; a) “Çamur koruma” hipotezine göre atık çamurdan kaynaklanan ağır metaller toprakta kalmak şartıyla çamurun inorganik bileşikleri tarafından düşük biyolojik mevcudiyet formunda korunurlar, b) İkinci hipoteze göre ise organik maddeler ağır metalleri absorblar ve böylece bunların toksik belirtilerini azaltır (Pascual 2004).

.

Türkmen vd. (2004), arıtma çamurunun mineral gübreleme ile karşılaştırmasını yaptıkları çalışmada, sonuç olarak özellikle alkalın karakterli bir toprakta ağır metal içeriği düşük ve makro ve mikro besin elementleri yüksek olan arıtma çamurlarının mineral gübreleme ile birlikte gübreleme programında yer almasının yararlı olacağını bildirmişlerdir. Araştırmacılar 60 ton ha⁻¹ düzeyinde arıtma çamurunu çalışmalarında uygulama düzeyi olarak kullanmışlardır.

Özsoy vd. (2006), Türkiye’de farklı arıtma basamaklarını içeren ve farklı büyüklüklerde nüfusa hizmet eden 4 arıtma tesisinden alınan arıtma çamuru ağır metal içerikleri ve tarımda kullanılabilirlikleri açısından değerlendirmişlerdir. Bu değerlendirmelerle bazı büyükşehir belediyelerine ait evsel arıtma tesislerine endüstriyel atıksuların ön arıtıma tabi tutulmadan verilebildikleri ortaya çıkmıştır. Bu arıtma çamurunda ağır metal içeriklerinin de yüksek olduğu gösterilmiştir. Ayrıca çamur basamaklarının varlığına ve türüne bağlı olarak arıtma çamurundaki patojen ve indikatör bakteri miktarının da önemli ölçüde değiştiği gösterilmiştir. Susuzlaştırma dışında başka bir çamur ünitesi içermeyen tesiste Salmonella, fekal koliform ve fekal streptokok miktarlarının çamur arıtım birimi içeren tesislere kıyasla çok yüksek seviyelerde olduğu bulunmuştur.

Aşık ve Katkat (2008)’e göre, son yıllarda atık su arıtma tesislerinden meydana gelen arıtma çamuru miktarı artış göstermektedir. İçerdikleri kimyasallar ve hasatlık yapıcı etmenler nedeniyle potansiyel olarak zararlı olan bu atıkların 1970’lere kadar direkt olarak boşaltılmasına ilişkin herhangi bir yasa yapılmamıştır. Ancak ilk olarak Enviromental Protection Agency (EPA) tarafından (40 CFR part 503) arıtma

çamurlarının kullanımlarında ne gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması gerektiği ve kullanm amaçlarına bağlı olarak zararlı madde kritik değerlerine yönelik düzenlemeler yapmıştır.

Samaras vd. (2008), çamur stabilizasyonunda kireç kullanımı, patojen giderimindeki etkinliği, metallerin biyolojik yararıyı azaltma potansiyeli, tarımsal yararları ve maliyetinin düşük olması sebeplerinden ötürü tercih edilmektedir.

Yaman (2009), Türkiye, Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri'nde arıtma çamurunun tarımsal kullanımını konu olan yöntemlikleri ve çamur uygulama politikaları karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir. Böylece, küresel bir sorun olan arıtma çamuru kaynaklı çevre kirliliğini önemle bakımından adı geçen ülkelerin politikalarının konulması amaçlanmıştır. Bunun için, ilgili ülkelerin yürürlükte olan ve arıtma çamurunun tarımsal kullanımını dolaylı ya da doğrudan konu alan yöntemlikleri ele alınmıştır. Karşılaştırma yaparak bu yöntemliklerde ortak olarak yer alan, toprağa uygulanacak arıtma çamurunda, arıtma çamuru uygulanacak toprakta bulunmasına, bir yılda toprakta birliğine izin verilen ağır metal sınır değerleri ve diğer parametreler ele alınmıştır. Ağır metal limitlerinin karşılaştırılmasında, her bir ülkenin çamur yönetmeliklerinde limit değerleri tanımlanan kadmiyum, bakır, cıva, nikel, kurşun ve çinkoya yer verilmiştir. AB değerleri 100 varsayılarak ABD ve Türkiye'nin benimsediği değerlerinin AB değerlerinden ne oranda saptığı ortaya konulmuştur. Sonuçta ABD'nin AB ve Türkiye'ye göre toprağa uygulanacak arıtma çamurunda kadmiyum, bakır, cıva, nikel, çinko ve nikel için daha yüksek, kurşun için daha düşük, arıtma çamuru uygulanacak toprakta incelenen tüm metaller için daha yüksek değerleri kabul ettiği anlaşılmıştır. ABD'nin 10 yıllık ortalamaya göre yılda toprağa verilmesine izin verilen ağır metal limitlerinde ise kadmiyum, cıva, nikel, bakır ve çinko için daha düşük, kurşun için aynı değerleri benimsediği gözlenmiştir. Arıtma çamuru yöntemliğini yürürlüğe koyma sıralaması ise AB (1986), ABD (1993) ve Türkiye (2001) şeklinde gerçekleşmiştir. ABD'nin benimsediği değerler AB ve Türkiye'ye göre çok yüksek bulunmuştur. Bu değerler sırasıyla toprakta birikimine izin verilen ağır metaller açısından kadmiyum için 19.5 kat, bakır için 15.7 kat, cıva için 13.6 kat, toprağa yıllık ortalama verilecek metaller açısından kadmiyum için 12.6 kat şeklinde olmuştur. Buna

göre, ABD'nin arıtma çamuru kaynaklı toprak kirliliğini önleme bakımından korumacı bir politika benimsemediği kabul edilebilir. Türkiye ise bütün değerlerde AB üst limitlerini benimseyerek sadece AB uyum sürecinin gereklerini yerine getiren bir politika izlediği görülmüştür. Orta ve uzun vadeli araştırma sonuçları çamur uygulamasının neden olduğu toprak kalitesindeki kaybının yılda ortalama 25-250 €da⁻¹ olduğunu göstermektedir. Bunun için arıtma çamurunun bitkisel üretim amaçlı kullanmının tek edilerek paket çim üretimi, park ve yeşil alanlardaki çimlerin ıslah gibi yollarla bertaraf edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde, atık çamurlarının bertaraf yöntemi olarak uygulanan yakma yöntemi Avrupa'da atık çamurların toplam kütlesinin yaklaşık % 15 kadarına uygulanmaktadır. Bu uygulamada arıtma çamurları ya tek başlarına, ya da diğer atıklarla birlikte yakılmaktadır. Arıtma çamurlarının doğrudan zirai amaçlı olarak kullanılması veya düzenli depolama sahalarına gönderilerek bertaraf edilmesi giderek artan yasal kontrollere tabi olmaktadır. Bu nedenle, yakma sistemlerindeki yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına, yakma kriterlerinin sıklığına, emisyon gazlarının işlenmesi ile ilgili maliyetlerin artmasına ve uçucu küllerle yanma ürünü olarak ortaya çıkan küllerin bertarafı işlemlerinin zorlaşmasına rağmen, arıtma çamurlarının yakılarak bertaraf yönteminin giderek daha fazla kullanılacağı beklenmektedir (Anonim 2006).

Çeşitli araştırma sonuçlarına göre arıtma çamurlarının farklı bertaraf yöntemlerinin maliyetleri çizelgi 2.6'da verilmiştir. Buna göre, arıtma çamurlarının tarm ve orman alanlarında kullanılarak bertarafının kuru madde cinsinden ton başına 80-261 ABD doları ile en düşük, yakma yöntemiyle bertarafının ise 220-523 ABD doları ile en yüksek maliyet unsuru olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumda, arıtma çamurunun tarımsal amaçlı kullanım yoluyla bertarafı en ekonomik yol olarak kabul edilmektedir. Ancak, kısa vadede ekonomik gibi görünen bu uygulamanın uzun vadede sadece toprak kalitesinde yol açtığı kaybın maliyetinin dekar başna 250-2500€ arasında olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun yanında arıtma çamuru bileşiminde toprak ve bitkiler için yararlı azot, fosfor gibi bitki besin maddeleri bulunmaktadır. Bu nedenle bir atık madde olarak arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı olarak kullanılması benimsenmiştir. Bunun sonucu olarak Türkiye, AB ve ABD'de arıtma çamurunun çevreye, toprağa,

bitkilere, yeraltı ve yerüstü sularına, insan ve hayvan sağlığına zarar vermeden en etkin kullanım yollarını tanımlayan arıtma çamurlarının tarımsal kullanımını düzenleyen yöntemlikler yayımlanmıştır.

Çizelge 2.7 Farklı bertaraf seçeneklerine göre arıtılmış çamurun maliyetleri (\$ton⁻¹ Kma)

Bertaraf seçenekleri	Anonim	Jantzen ve Woerd (2007)
Tarım ve orman alanlarında	80-200	98-261
Kompostlaştırma	140-270	163-392
Kurutma		
Yakma	220-375	294-523
Düzenli depolama	65-300	130-523

Yaman (2009) çalışmasında, arıtma çamurunun kullanması ve kullanmamasının ekonomik sonuçlarını karşılaştırmalı olarak inceleyerek çamur kullanımının verim, toplam masraflar, değişken masraflar, brüt gelir, birim maliyetler, kimyasal gübre kullanım miktarı gibi parametreler üzerindeki etkisini araştırmıştır. Tarımsal faaliyetlerinde arıtma çamuru kullanan 39 işletme, Ankara Atık Su Arıtma Tesisinden arıtma çamuru talep eden Türkobası, Gökler, Tekke ve Anayurt köylerinden tam sayım tekniğine göre amaçlı olarak seçilmiştir. Çamur kullanmayan 42 işletme ise ana kitleyi oluşturan 629 işletmeden işletme arazi genişliğine göre %10 hata oranı ile basit tesadüfi örnekleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuçta, çamur kullanılarak yapılan arpa üretiminde, çamur kullanılmayan parsellere göre net gelir ve kullanılan kimyasal gübre miktarındaki farklılık %1 düzeyinde, dekara verim, brüt gelir ve birim maliyetlerdeki farklılık ise %5 düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

2.3 Arıtma Çamurunun Toprak Özellikleri Üzerine Etkileri

Arıtma çamurlarının tarım arazilerine uygulanması, çamur bertaraf maliyetini önemli ölçüde azaltığından birçok ülkede yaygın olarak kullanılan bir yöntem olmuştur. Bu konu üzerinde farklı ülkelerdeki pek çok araştırmacı ayrıntılı çalışmalar yürütmektedir

(Zufiaurre vd. 1998, Nguyen, 2005, Singh vd. 2004, Laturnus vd. 2007, Gascó ve Lobo, 2007, Takachi vd. 2007, Schowanek vd. 2007).

Atık çamurlarının tarım gübresi veya toprak düzenleyici olarak potansiyeli vardır ve bu atıklar toprağın havalanması ve bünyesini iyileştirir ve toprağın su tutma kapasitesini yükseltir.(Pagliai vd. 1981), ayrıca yapılan araştırmalar, atık çamurların kullanımının bitki üzerinde olumlu etkisini ispat etmiştir (King ve Morris 1972).

Epstein (1975), siltli tın tekstüre sahip bir toprağın su tutma kapasitesinde, hidrolik iletkenliğinde ve agregat stabilitesinde olan değişimleri incelemek amacıyla ham çamurları ve arıtma çamurlarını ağırlık olarak %5 düzeyinde karıştırmış ve bu karışımı 75 gün süreyle 15, 25 ve 35°C sıcaklıkta inkübasyona bırakmıştır. Araştırma sonucu arıtma çamuru ilavesinin tarla kapasitesi ve solma noktası değerlerini artırdığı, ancak bu artışın su tutma kapasitesinde herhangi bir değişim ortaya koymadığı saptanmıştır. Ayrıca arıtma çamuru ilavesinin hidrolik iletkenliği artırdığını ancak bu değişimin geçici olduğunu, çünkü hidrolik iletkenliğin uygulamadan 50 ila 80 gün sonra kontrol ile aynı değere düştüğünü belirtmiştir. Agregat stabilitesinin ise arttığını vurgulamıştır.

Ağır metallerden Cd ve Zn miktarının arıtma çamurlarının topraklara uygulanması ile toprak çözeltisinde arttığı ve bu topraklarda yetiştirilen bitki dokularında biriktiği çeşitli araştırmacılar tarafından da belirtilmektedir (Bingham vd. 1975, Hinesly vd. 1977, Hinesly vd. 1979, McBride 2003).

Arıtma çamuru ve kompost uygulamasının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkilerini araştırmışlar ve toprakların su tutma kapasitesi, hidrolik iletkenlik ve agregat stabilitesi gibi fiziksel özelliklerinin söz konusu organik materyal uygulaması ile arttığını, kimyasal yönden ise topraklarda herhangi bir sorunun olmadığını belirlemişlerdir (Epstein vd. 1976).

Sıvı arıtma çamuru uygulamasının toprakların nem içeriğine ve infiltrasyonuna olan etkilerini araştırmak amacıyla yürütülen bir çalışmada, 20 cm yüksekliğinde uygulanan

sıvı arıtma çamurunun toprakların nem içeriğini ve infiltrasyonunu artırdığı bununla birlikte yüzey akışı azalttığı saptanmıştır (Kelling vd. 1977).

Pagliai ve Guidi (1979), killi tın tekstüre sahip topraklara ahır gübresi, kompost, arıtma çamuru ve kompost-arıtma çamuru karışımı uygulamasıyla, toprakların toplam porozitelerinin önemli düzeyde arttığını belirtmişlerdir. Araştırma sonucu kontrol parseline göre en yüksek poroziteyi %60 kompost-%40 arıtma çamuru karışımının sağladığını saptamışlardır.

Evans vd. (1979), yaptıkları çalışmalarla 80 yıl boyunca atık sulardan gelen metallerin % 85'ten fazlasının toprakta biriktiğini ve bu birikimin de çoğunlukla yüzey topraklarında olduğunu bildirmişlerdir.

Khaalel vd. (1981), 21 toprak tipinde hayvan gübresinin, kentsel atıkların ve arıtma çamurlarının etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak organik materyal uygulanan toprakların kütle yoğunluğunun azaldığını, toplam porozitenin arttığını, tarla kapasitesi ve solma noktasındaki su tutma kapasitelerinin arttığını, hidrolik iletkenlik ile infiltrasyon kapasitesinin çok az miktarda arttığını vurgulamışlardır.

Kumlu tın tekstüre sahip topraklarda hayvan gübresinin, arıtma çamurunun ve çöp kompostunun toplam porozite, agregat stabilitesi ve elektrik iletkenlik özelliklerine olan etkilerini araştırmak amacıyla yürütülen bir çalışmada 5 ve 15 t/da uygulama düzeyleri incelenmiştir. Sonuç olarak, toplam porozitenin, agregat stabilitesinin ve elektrik iletkenlik özelliklerinin artan uygulama düzeylerine paralel olarak arttığı tespit edilmiştir (Guidi vd. 1981).

Kırımhan vd. (1982), Erzurum'da, Karakaplan (1982) Malatya'da, kanalizasyon suları ile sulanan topraklardaki kimyasal özellikleri araştırmışlardır. Her iki çalışmada da kanalizasyon suları ile sulanan topraklarda organik madde miktarı ile özellikle N, P ve K miktarlarının önemli düzeyde arttığı görülmüştür.

Narwal vd. (1983) yaptıkları araştırmada, atık çamurun toprağın pH'sı, kimyasal bileşimine ve kolza bitkisi tarafından alınan ağır metal miktarlarını incelemişlerdir. Sera denemesinde kum bünyeli topraklara anaerob stabil atık çamur uygulanmıştır. Atık çamur dozları 0,50 ve 100 t/ ha kuru madde şeklindedir. Atık çamur uygulaması inkubasyon denemesinde, toprağın pH'sını azaltmıştır ve sonuçta toprağın kireç ihtiyacını artırmıştır. Toprağın pH'sı inkubasyon süresi boyunca azalmıştır. Bitkiler çimlenmeden 5 hafta sonra

hasat edilmiş ve yine hasattan 5 hafta sonra hasat edilmiştir. Her hasatta atık çamur uygulaması toplam kolza bitkisinin kuru maddesini, tüm pH seviyelerinde önemli miktarda artırmış, maksimum verim ise pH 6'da elde edilmiştir. Tüm hesaplanan makro elementlerin miktarı atık çamur dozuna bağlı olarak artmıştır ancak bu konsantrasyonlar daima pH 6'da en az miktarda tespit olunmuştur. Atık çamur uygulamasına bağlı olarak, Zn, Cd ve Ni konsantrasyonları kolzada genellikle artış göstermiş, Mn, Cu ve Co ise azalmıştır. Metallerin konsantrasyonları genelde pH artışı ile azalmışlardır. Buna rağmen ağır metallerin konsantrasyonu ikinci hasattan sonra daha yüksek miktarda bulunmuştur. Genelde toplam metaller birinci hasata yüksek miktarda bulunmuştur. Kolza bitkisindeki metaller (0.2 N HCl ile ekstrakte edilebilir metaller), uygulanan atık çamur artmasıyla beraber azalma ve toprağın pH'sının artmasıyla beraber artış göstermiştir.

Guidi vd. (1983), 1-2 mm arası agregatların stabilitesine, arıtma çamuru ve kompost etkisini, etil eter, etil alkol ve su ile karıştırdıktan sonra araştırmışlar ve etil eterle uygulanan kompostların, agregat stabilite indeksini daha çok artırdığını belirtmişlerdir. Arıtma çamurlarının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkileri incelemek amacıyla yürütülen bir çalışmada, 5-10 t/da uygulama düzeylerinin organik madde miktarına bağlı olarak kütle yoğunluğunu düşürdüğü, poroziteyi, agregat stabilitesini, tarla kapasitesi ve solma noktasındaki su tutma kapasitelerini ve hidrolik iletkenliği artırdığı saptanmıştır. Ayrıca pH'nın organik maddenin ayrışması ve nitrifikasyonu sonucu ortaya çıkan organik asitlerden dolayı arttığı, kation değişim kapasitesinin ve elektrik iletkenliğin de arttığı bildirilmiştir.

Stanford ve Donohue (1983) tarafından 15-30 cm toprak derinliğindeki bazı özellikleri düzeltmek amacıyla yürütülen bir çalışmada, kentsel atıklar ile arıtma çamurları kullanılmıştır. Atık bileşimini, bitki- toprak ilişkilerini, toprak verimliliğini ve su tutma faktörlerini inceleyen araştırmacılar toprağın su tutma kapasitesinin iyileştiğini, daha iri bitkilerin yetiştiğini ve kimyasal gübrelere olan gereksinimin azaldığını belirtmişlerdir.

Hornick vd. (1984), arıtma çamurlarının topraklara en önemli yararlarının, su tutma kapasitesi, havalanma, geçirgenlik ve infiltrasyon, penetrasyon direnci ve kütle yoğunluğu özelliklerinde görüldüğünü vurgulamışlardır. Yine aynı araştırmacılar, yıllık olarak ve düşük uygulama oranlarında (1-2 t/da) arıtma çamuru uygulamasının daha yararlı ve ekonomik olacağını bildirmişlerdir.

Vigerust (1984), Norveç'te yeşil sahaların iyileştirilmesi için yaptığı bir çalışmada arıtma çamurunu direkt olarak ve çeşitli oranlarda kum ve ağaç kabukları ile karıştırarak, yeşil sahaların üst 4-10 cm'lik kısmına uygulamış ve arıtma çamurunun toprakların fiziksel özelliklerine olumlu yönde etki ettiğini gözlemlemiştir.

Wei vd. (1985), geçirgenliği zayıf ve arzu edilmeyen diğer fiziksel özelliklere sahip siltli killi bir toprağa 1,12-2,24-4,48 ve 11,2 t/da düzeylerinde arıtma çamuru uygulamışlar ve uygulamadan 5 yıl sonra artan uygulama düzeylerine paralel olarak toprağın kütle yoğunluğunun azaldığını ve hidrolik iletkenlik ile agregat stabilitesinin arttığını belirtmişlerdir. 5 yıl sonunda düşük uygulama düzeylerinin etkilerinin görülmediğini, bunun ise düşük uygulama düzeylerinin yıllık etkide bulunmuş olabileceğinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Dolgu topraklarının uygun olmayan fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi, dolgu materyalinin stabilizasyonu, erozyona karşı korunması ve bitki örtüsü oluşturmak amacıyla yürütülen bir çalışmada dolgu topraklarına yüksek oranlarda arıtma çamuru uygulanmış ve toprak özelliklerinin bu şekilde iyileştirilmesi önerilmiştir (Wilson vd. 1985).

Parr vd. (1986), gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki sürdürülebilir tarımı kalkındırmak amacıyla organik atıklar için bir takım yeni değerlendirmeler ve stratejiler ortaya koymuşlardır.

Arıtma çamurlarının ormanlık arazilerdeki toprak özelliklerine ve ağaç büyümesine olan etkilerini inceleyen Berry (1987), arıtma çamuru uygulanmış parsellerdeki ağaç büyüme hızının gübre ve kireç uygulanmış parsellere oranla daha fazla olduğunu saptamış, toprak iyileştirici maddelerin derin sürüm ile daha yararlı olacağını vurgulamıştır.

Üst toprak kazıları sonucu özelliklerini kısmen kaybetmiş toprakların iyileştirilmesinde kireç, ahır gübresi ve arıtma çamurlarının etkilerini inceleyen Hornick ve Parr (1987), bu materyallerin uygun bir şekilde kullanımı ile istenmeyen özelliklere sahip toprakların 3 yıl içerisinde tekrar verimli bir düzeye geldiğini belirtmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada arıtma çamuru uygulamasının toprakların 0,05-2,0 mm arasındaki agregatların stabilitesini %45'ten %85'e yükselttiği ve kütle yoğunluğunu düşürdüğü vurgulanmıştır (Glauser vd. 1988).

Olson ve Jones (1988), yaptıkları bir sera denemesinde arıtma çamurlarının üst toprak tabakası agregasyonuna ve porozitesine olan etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, tüm uygulama düzeylerinde arıtma çamurlarının agregasyonu azalttığını ve poroziteyi artırdığını belirtmişlerdir.

Tester (1990), tarafından yapılan araştırmanın amacı, kompostlanmış atık çamurun üst üste uygulamasının toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerine etkisini araştırmaktır. Tınlı kumlu toprakta, atık çamur, sığır gübresi ve gübrenin toprağın özellikleri üzerine etkisini araştırmak için tarla denemesi kurulmuştur. Uygulama miktarı en az bitkinin toplam azot ihtiyacını (örneği 33 Mg ha⁻¹) ve maksimum miktar 268 Mg ha⁻¹) karşılayacak dozdadır. Beş yıl boyunca tekrarlanan çamur uygulamasında kompostlanmış çamur toprağın hacim ağırlığını anlamlı miktarda azaltmıştır, su tutma miktarını ve pH değeri ise artış göstermiştir. Toprağın karbon seviyesi yükselmiş olup

araştırmanın sonuçlarına göre, yıllık uygulanan organik maddenin 24% (atık çamur kompostunun) ve 37% (sığır gübrenin) 1 sene içinde ayrışabilmektedir.

Fresquez vd. (1990), Amerika'nın güney batı tarafındaki yarı kurak bölgelerinde, çayır ve mera topraklarının organik madde ve bitkiye yarayışlı azot miktarının az olması nedeniyle, büyük problemle karşı karşıya olmasından dolayı bir araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada, kuru, anaerob atık çamur 3 farklı dozda (22.5, 45 ve 90 Mg ha⁻¹) bozulmuş yarı kurak çayır ve mera topraklarına uygulanmış ve toprağın kimyasal özellikleri ve ağır metal miktarı, bitkisel verim miktarı ve kalitesi 2 ekim döneminde araştırılmıştır. Atık çamur uygulamasından iki sene sonra besin maddelerin çoğu, toprağın azot, fosfor ve potasyum miktarı atık çamurun dozuna bağlı artış göstermişlerdir, toprağın pH sı 7.8 den 7.4'e, düşmüştür. Diğer yandan, toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir mikrobeyin maddeleri (örneğin Cu, Mn, Zn), atık çamur artışıyla yükselmiştir. Otsu bitkilerin verimi önemli miktarda çamur uygulaması ile özellikle 45 Mg ha⁻¹ dozunda, kontrol parsellerine göre artış göstermiştir. 2 yıl arıtma çamuru uygulamasından sonra, verim artışı kontrol parsellerin 2-3 katına yükselmiştir. Uygulanan atık çamurun dozuna bağlı olarak, bitki dokularındaki azot, fosfor ve potasyum ve ham protein artış göstermektedir. Ayrıca, bitkilerin dokusundaki Cd ve Pb'un artışı anlamlı miktarda olmamıştır. En iyi etkiyi toprakta ve bitki veriminde 45 Mg ha⁻¹ atık çamur uygulaması göstermiştir.

Canbolat (1990), Iğdır ovası toprakları üzerine yaptığı bir çalışmada, ahır gübresi ve buğday samanını çeşitli oranlarda topraklara karıştırmış ve belirli bir inkübasyon süresi sonunda toprakların kütle yoğunluğunun azaldığını, agregat stabilitesinin arttığını ve kaymak tabakasının kırılma dirençlerinde düşüşler olduğunu bulmuştur.

Hanay ve Yardımcı (1992), artan miktarlarda uygulanan çöp kompostunun toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri ile toprak-su ilişkilerinde olumlu değişimler meydana getirdiğini belirtmişlerdir. Özellikle ince bünyeli topraklarda, çöp kompostunun içerdiği inorganik materyaller nedeniyle hidrolik iletkenlik değerini ve infiltrasyon hızını ahır gübresine oranla daha fazla artırdığını saptamışlardır.

Chander vd. (1991)'nin yaptıkları araştırmada, metaller ile zenginleşmiş atık çamurun topraklara (kumlu tınlı (%15 kil) ve diğeri silt tınlı (%21 kil) uygulamasının toprakların mikrobiyal biyokütlesi ve organik maddesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. EC limitlerinin altında veya üstünde olan toprağın metal (Zn, Cu, Ni ve Cd) konsantrasyonları, toprağın mikrobiyel biyokütlesinin azalmasına sebep olmuştur. Cu metali, izin olan konsantrasyonun 2 katı olurken, toprağın biyokütlesini her iki toprakta, yaklaşık %40 azaltmıştır. Organik karbon ve toplam azotun, kumlu tınlı toprakta %30'u ve siltli tınlı topraklarda %13'nün birikmesine sebep olmuştur. Aynı konsantrasyonda olan Zn, kumlu tınlı toprakta %40 ve siltli tınlı toprakta %30 oranında toprağın biyokütlesini azaltırken, toprakta organik madde %9-14 artırmıştır. Aynı konsantrasyonda olan Cd, siltli tınlı toprağın biyokütle ve organik maddesi üzerinde hiç etki göstermemiştir. Mikrobiyal biyokütle karbonu, toprağın toplam organik karbonunun yüzdesi olarak, Zn ve Cu'nun EC limitinin 2 katı olduğunda, düşük konsantrasyonlara göre daha azalmıştır. Sonuçlara göre, mikrobiyal biyokütle, yüksek metal konsantrasyonlarında düşmüştür.

Tadesse vd. (1991), atık çamurdan ve inorganik tuzlardan alınan metallerin uygunluğunu, verimlilik açısından toprağın pH ve çeşidinin etkisini ve buğday tarafından (*Triticum aestivum* L.var.) alınan metalleri (Zn,Cu,Cd ve Ni) değerlendirmek için bir sera denemesi kurmuşlardır. Bu araştırmada kullanılan topraklar kumlu tınlı Hartsell (ince tınlı, silisli termik Typic Hapludult) ve killi tınlı Decatur'dır (killi, kaolinit, termik Rhodic Paleudult). 20 ve 100 mt ha⁻¹ oranlarında iki doz atık çamur kullanılmıştır. Zn, Cu, Cd ve Ni'in inorganik tuzları, 20 ve 100 mt ha⁻¹ 'da bulunan atık çamurlarıyla eşdeğer konsantrasyonlarda uygulanmıştır. İki toprağın pH seviyeleri, biri tarla topraklarındaki gibi (6'nın altında), diğeri ise 6,5-7 arasında ayarlanmıştır. Buğday bitkisi çimlenmeden 4 hafta sonra hasat edilmiştir. Sonrasında sırayla iki hasat daha 4 hafta aralıkla yapılmıştır. Her hasat için, ürünün kuru maddesi atık çamur kullanımının artmasıyla her iki toprakta da artış göstermiştir. Toprağın pH'ı ürünün kuru maddesini de etkilemiştir. En çok verim, her iki toprakta da pH 6.5-7 olarak ayarlandığında görülmüştür. Ayrıca çoğu denemede hasat veriminin arttığı gözlemlenmiştir. İnorganik tuz kullanan denemelerin, kuru madde üretimi açısından, atık çamur uygulananlara kıyasla daha az verimli olduğu görülmüştür. Her iki

uygulamada (atık çamur ve metal tuzları) Zn, Cu, Cd ve Nikelin bitki dokusu konsantrasyonları, tarla pH'ı koşullarında her iki toprakta da yükselmiştir. Ancak, atık çamur ve inorganik tuzların uygulanması denemelerinin her ikisinde de toprağın pH'ının yükselmesi, genellikle yüksek metallerin bitki dokusu konsantrasyonunu azaltmıştır.

Verimli topraklar göreceli olarak yüksek strüktür stabilite indeksi ve agregasyon yüzdesine sahiptir. Toprağa ilave edilen organik madde, toprak agregasyonunun iyileştirilmesi, tohumların çimlenmesi, büyümesi ve bitki kökleri ile sürgünlerinin gelişmesine etki eder (Van Noordwijk vd. 1993).

Amerika Birleşik Devletlerinde 1993 yılı itibariyle kuru ağırlık olarak ortaya çıkan 5,4 milyon ton arıtma çamurunun %33'ü arazide kullanılmaktadır. Araziye uygulanan arıtma çamurlarının %67'si tarım alanlarında, %3'ü orman alanlarında, %9'u ıslah edilecek alanlarda, %9'u yeşil alanlarda değerlendirilmekte, geriye kalan %12'si ise torbalanarak satılmaktadır (Anonymous 1994).

Tsadilasa vd. (1995) tarafından atık çamurun bazı toprak özellikleri ve buğday ve mısır bitkilerin gelişmesi üzerine etkilerini belirlemek için bu araştırma yapılmıştır. Araştırmada farklı toprak fraksiyonlarında ağır metallerin dağılımı ve onların bitkiye yarayışlı olması ve toprağın pH ile ilişkisi de araştırılmıştır. Sonuçlara göre, atık çamur uygulaması, toprağın pH, organik madde miktarı, elektrik iletkenliği ve yarayışlı fosforu önemli miktarda etkiliyor. Toprağın pH'sı artış gösterip nötr'e yaklaşıp sabit kalıyor. Organik madde miktarı, elektriksel iletkenlik ve yarayışlı fosfor artış gösteriyor. Ağır metal olarak sadece toplam bakır ve çinko artıyor ancak Zn ve Cu'nun miktarları EC limit miktarının altında belirleniyor. Önemli miktarda DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd, Ni, Cu ve Zn konsantrasyonu artarken DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe ve Mn azalıyor. Metallerin konsantrasyonları pH ile kuvvetli ilişki gösteriyor. Atık çamur uygulaması ile, NaOH, EDTA ve HNO₃ ile ekstrakte edilmiş Cr, Ni, Cu ve Pb önemli miktarda artış göstermiştir ancak Zn ve Pb etkilenmemişlerdir. NaOH-Cr, NaOH-Cu, ve NaOH-Pb önemli miktarda organik madde miktarına bağlı bulunmuş, KNO₃-Cr ve KNO₃-Pb ise toprak pH'sına bağlı bulunmuştur. Tüm metaller, atığın miktarının yükselmesine paralel olarak artış göstermiş ancak metallerin konsantrasyonları toksisitenin altında

bulunmuştur. Bunun tersi olarak, potasyum konsantrasyonu atığın miktarının artışıyla azalmış, DTPA ile ekstrakte edilen metallerin konsantrasyonu ile buğdayın kuru maddesi arasında önemli korelasyon belirlenmiştir.

Genellikle toprağın organik madde içeriğini artırmak ve buna bağlı olarak ürün yetiştirilen alanlarda toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmek için ürün artıkları ahır gübresi, torf, orman altında biriken yapraklar ve kompost haline getirilen organik atıklar toprağa karıştırılır (Stratton vd. 1995).

Alloway (1995), İngiltere'deki kanalizasyon arıtma çamurlarında kuru maddede ortalama 17 – 23 mg kg⁻¹ Cd ve ABD'de ise 16 mg kg⁻¹ Cd olduğunu bildirmiştir. Ayrıca araştırmacı dokularında 3 mg kg⁻¹ Cd içeren bitkilerle düzenli olarak beslenen insanlarda Cd toksisitesi görüldüğünü bildirmektedir.

Arıtma çamuru uygulamasının pamuk bitkisinin gelişimi ve ürün miktarı üzerine olan etkisini belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, topraklara artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurunun pamuk bitkisinin gelişimini ve ürün miktarını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Ancak bu değişimin geçici olduğu, uygulamadan bir yıl sonra arıtma çamuru uygulamasının etkinliğini kaybettiği bildirilmiştir (Shiralipour ve Epstein 1996).

Arıtma çamurlarının toprak sıkışması üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen bir çalışmada, Stone ve Ekwue (1996), farklı oranlarda arıtma çamuru uygulanmış toprakları 0, 10, 100, 600 ve 1000 kPa'lık sıkıştırma kuvveti etkisi altında incelemişlerdir. Çalışma sonucu, artan miktarlarda arıtma çamuru uygulamasının aynı seviyedeki sıkıştırma kuvveti altında gözenek miktarını artırdığı belirtilmiştir.

Iğdır İli Aralık İlçesi rüzgar erozyonu alanı topraklarının bazı fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla yürütülen bir çalışmada Canbolat vd. (1996), çöp kompostu ve ahır gübresini %2, %4 ve %6 uygulama düzeylerinde incelemişlerdir. Çalışma sonucu, organik atık materyal uygulamasının toprakların organik madde miktarını, kütle yoğunluğunu, porozitesini ve su tutma kapasitesini artırdığını, buna karşılık agregat

stabilitesini ise değiştirmediğini saptamışlardır. Sonuç olarak, aynı oranlarda uygulanan çiftlik gübresinin çöp kompostundan daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

p kompostunun ve arıtma amurlarının yetiştirme ortamı olarak kullanımını belirlemek amacıyla yapılan bir çalışmada, çöp kompostu ve arıtma çamuru uygulamalarının vejetasyonu daha hızlı artırdığı saptanmıştır (Ingelmo vd. 1998).

Sort ve Alcañiz (1999), arıtma çamuru uygulanan topraklardaki porozite değişimini 28 ay süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, toprak mikro porozitesinin (<50 μm) ve makro porozitesinin (>50 μm) arttığını saptamışlardır. Ancak bu değişimin geçici olduğunu, arıtma çamuru uygulamasından bir yıl sonra kontrol parseli ile deneme parseli arasında porozite ile ilgili önemli bir farklılığın olmadığını belirtmişlerdir.

Killi toprakların ve organik madde bakımından zengin toprakların katyon değiştirme kapasitesi yüksek olduğundan ağır metalleri büyük lde tutarlar ve zor çözülebilir bileşikler oluştururlar (Bakiş ve Bilgin 1998).

Laboratuvar koşullarında ve diğer ortamlarda birçok bitki türün etallerin kök, gvd.e ve yaprak büyümesi, çimlenme, solunum, fotosentez, mitoz bölünme, protein sentezi, enzim aktivitesi, nükleik asit yapısı, mineral besin alını mı, transpirasyon, terleme vb. olayları olumsuz etkilediği anlaşılmıştır (Zengin 2000, Gezinci 2001, Yahyagil 2003).

Aggelides ve Londra (2000), yarı kurak bir bölgede tın ve kil bünyeye sahip toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla hacim olarak %62 kent atıklarından, %21 arıtma çamurundan ve %17 talaştan oluşan organik gübre yi 0, 75, 150 ve 300 m^3/ha uygulama miktarlarında incelemişlerdir. Araştırma sonucunda, toprakların kimyasal özelliklerinin uygulama miktarından doğrudan etkilendiği saptanmıştır. Ayrıca doymuş ve doymamış koşullardaki hidrolik iletkenliğin, su tutma kapasitesinin, tane yoğunluğunun, toplam porozitenin, gözenek dağılımının, penetrasyon direncinin, agregasyonun ve agregat stabilitesinin iyileştiğini de vurgulamışlardır. Sonuç olarak, topraklarda oluşan iyileşmenin uygulama miktarı ile orantılı olduğu ve bu iyileşmenin tınlı bünyeye sahip toprakta daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Kurak iklime sahip bir bölgede özelliklerini kaybetmiş toprakların bazı fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerini iyileştirmek amacıyla yürütülen bir çalışmada, yeşil gübre, yeşil gübre - arıtma çamuru karışımı ve arıtma çamuru uygulamalarının etkinlikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucu, suya dayanıklı agregat miktarında herhangi bir değişimin olmadığı, ancak toprak organik madde içeriğinin önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir (Holz vd. 2000).

Yeşil gübre, yeşil gübre-arıtma çamuru karışımı ve arıtma çamuru uygulamalarının toprakların hidrolik iletkenliği ve agregasyonu üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bir araştırmada, yeşil gübre-arıtma çamuru karışımının toprakların hidrolik iletkenliğini ve agregasyonunu diğer uygulamalara göre daha çok artırdığı saptanmıştır (Harris ve Megharaj 2001).

Quemada ve Menacho (2001), arıtma çamurlarının toprak havalanması üzerine olan etkilerini kontrol, 4 ve 8 t/da uygulama düzeylerinde 1 yıl süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucu, 8 t/da uygulamasının toprak havalanmasını artırdığı ve bu artışın uygulama düzeyi ile doğrudan ilişkili olduğu bildirilmiştir.

Arıtma çamurlarının toprakların 0-30 ile 30-60 cm derinliklerindeki kadmiyum ve nikel içeriklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla Sastre vd. (2001), yıllık 50 ve 100 t/ha uygulama miktarlarını 8 yıl süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucu, kadmiyum ve nikel içeriklerinin uygulama miktarlarına bağlı olarak arttığı vurgulanmıştır. Bununla birlikte, kadmiyumun organik madde ile bileşikler oluşturduğu ve nikelin demir ve mangan oksitler ile bağlandığı saptanmıştır.

Türkmen vd. (2001), arıtma çamuru uygulamasının sera şartlarında yetiştirilen arpa ile bazı ağır metallerin topraktan alınabilirliği konusundaki yaptıkları araştırmada, arıtma çamuru uygulamalarının, toprakta toplam ve alınabilir Cu, Zn, Pb ise alınabilir miktarlarını azalttığını ve Fe'in ise alınabilir veya toplam miktarları arasında fark olmadığını belirtmişlerdir. Aynı araştırmada yüksek dozlardaki uygulamalarda bitki

bünyesindeki metallere Cu ve Pb dışındaki metallerin (Fe, Zn, Mn, Ni) toprakta izin verilen sınırlarda kaldığını belirtmişlerdir.

Bozkurt vd. (2001) Van ekolojik koşullarında arpanın azot ihtiyacını inorganik azotlu gübre ve kentsel arıtma çamuru vererek karşılaştırma amacı ile yürüttükleri araştırmada, inorganik azotlu gübre, 0-3-6-9-12 kg N/da dozlarında, arıtma çamuru 0-400-800-1200-1600 kg/da düzeylerinde verilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, inorganik azotlu gübre ve arıtma çamuru uygulamaları bitkinin azot içeriğinin ve alımını artırmıştır. Artış, arıtma çamuru uygulamalarında daha fazla olmuştur. Artan arıtma çamur dozları tane P, Fe, Mn ve Cu içeriklerini artmasına karşılık, diğer ağır metal içeriklerini önemli düzeyde artırmamıştır. Artan arıtma çamuru uygulamalarıyla toprakta toplam Zn ve Cu miktarları artmıştır. Ancak, toprakta ağır metal kapsamı toksik düzeyin oldukça altında bulunmuştur.

Arıtma çamurlarının aynı zamanda toprak düzenleyici etkisi de bulunmaktadır. Arıtma çamuru gibi organik madde esaslı materyallerin toprağa uygulanması, killi topraklarda toprak geçirgenliğini artırarak, kök gelişimine ve suyun topraktaki hareketine iyileştirici etki yapmaktadır. Kumlu topraklarda ise bu materyaller su tutma kapasitesini artırır, diğer taraftan da besin maddesinin değişimine ve tutulmasına olanak sağlarlar. Ayrıca arıtma çamurları toprak mikroorganizmalarının sayısını ve aktivitesini artırmakta da etkilidirler. Bu yararlı özelliklerinin yanı sıra arıtma çamurları, çevreye zararlı olabilecek potansiyel toksik elementleri, patojen mikroorganizmaları ve parazitik organizmaların yumurtalarını içerebilmektedirler (Bilgin vd. 2002).

Bilgin vd. (2002), Ankara Atıksu Arıtma Tesisinden ortaya çıkan arıtma çamurlarını 10 aylık bir dönem boyunca bazı potansiyel toksik element (PTE) içerikleri açısından incelemişlerdir. Buna göre arıtma çamurunun içermiş olduğu kadmiyumun 6–11, bakırın 171–363, nikelin 47–67, kurşunun 125–180, çinkonun 2230–4510, kromun 102–235 ve cıvanın 0.4–1.1 mgkg⁻¹ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Araştırmadan elde edilen diğer bir sonuca göre, bakır, kurşun, kadmiyum, çinko ve cıva kapsamı açısından tesis çevresi topraklarının arıtma çamuru kullanımına uygun olduğu ancak nikel ve krom içeriklerinin yönetmelikte belirtilen sınır değerlerden yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırmada ayrıca tesis çevresinde arıtma çamurunun tahıl

yetiştiriciliğinde 15 ton (kuru madde)/da ve bazı yerlerde çok daha fazla miktarda kullanıldığı tespit edilmiştir.

Tsadilas vd. (2002), kömür külü ve atık çamur uygulanan asitli topraklarda (pH 5.0), buğday bitkisine sera denemesi yapmışlardır. Bu deneme rastgele bloklar şeklinde 7 uygulama ve 4'er tekrar ile yapılmıştır. Uygulamalar: Kontrol (sadece toprak), toprak+inorganik gübre, toprak+ 30g kömür külü/ 2.5 kg toprak, toprak +90g kömür külü/2.5 kg toprak, toprak +2.65 g atık çamur/2.5 kg toprak, toprak +5.25 g atık çamur/ 2.5 kg toprak, toprak +10.5 g atık çamur/ 2.5 kg toprak şeklindedir. Sonuçlara göre, kömür külü tek başına buğday biyokütlesini, yüksek miktarda inorganik gübre ve atık çamur uygulaması gibi önemli miktarda artıramamaktadır. Kömür külü eklenmesi toprağın pH, elektriksel iletkenlik, sıcak suyla çıkartılabilir bor ve toplam bakır, kurşun, nikel ve çinko seviyesini artırmaktadır, ancak kullanılabilir durumdaki ağır metalleri de azaltmaktadır. Atık çamur buğdayın biyokütlesini, toprağın pH'ını ve toprağın azot (amonyum ve nitrat) miktarını artırmaktadır. Ancak, her ne kadar toprağın ağır metal miktarını artırsa da (özellikle de toplam konsantrasyonundaki), kullanılabilir formdaki metalleri artıramamaktadır.

Ionescu vd. (2002)'e göre, kentsel atıklardan elde edilen atık çamurun, yüksek miktarda organik karbon (%25 den fazla), toplam azot (2-3%) ve nötr pH (6.93-7.17) içermesinden dolayı organik gübre olarak bitkilerde uygulanabilir. Bunun dışında, çamurun ekili topraklardakiyle beraber mangan içermesi, bitkide zehirlenme yaratabilmektedir. Hem topraktaki hem de bitkideki mangan miktarını gözlemlemek için, ihtiyaca göre mısır, kış buğdayı yada soya bitkisine 0, 5, 10, 25 ve 50 tha^{-1} oranlarıyla atık çamur ile birlikte 0, $\frac{1}{2}$ ve 1/1 aralıklarında kimyasal gübre uygulaması yapılmıştır. Atık çamur (anaerob sindirilmiş ve süzölmüş) ve kimyasal gübrenin birlikte uygulanması, atık çamur ve kimyasal gübre kullanılmayan denemelere kıyasla, topraktaki toplam mangan formunun miktarının istatistiksel açıdan önemli miktarda artmasına sebep olmamıştır. Tek istisna soya bitkisinde görölmüştür. Atık çamur uygulamasından sonra değişken mangan (Mn^{+2}) miktarında belirgin artış görölmektedir. Ancak, manganın emilimini, gereken ve özel miktarlarda 3 bitki sağlayabilmektedir. Mısırın, 6.0 mg.kg^{-1} d.w oranında çiçekli ve 6.7 mg.kg^{-1} d.w oranında olgun taneli

yapraklarında en az mangan emilimi gerçekleşmektedir. Atık çamur ve özellikle kimyasal gübreler, daha büyük biyokütlelerde bitkinin gelişmesine ve dolayısıyla daha çok mangan iyonu emilmesine büyük katkıda bulunmuşlardır. Bu sayede mısırın toplam biyokütlesi ile pozitif ve kayda değer mangan miktarı arasında bir bağıntı tespit edilmiştir. Soya bitkisi, mangan konsantrasyonu ve toplam biyokütle arasında pozitif fakat kayda değer derecede olmayan bir ilişki göstermektedir. Kış buğdayında ise mangan konsantrasyonu, toplam biyokütle ile ilişkili değildir.

Hough vd. (2003), metal konsantrasyonların bitkide bir tahmini model geliştirmeye, toprağın kirecini ve atık çamurun uygulamasının en iyi hale getirmesi için deneme kurmuşlardır. Bitki dokularındaki metal konsantrasyonun tahmini için toprağın metal konsantrasyonu, humus miktarı ve pH ölçülmüştür. Bu denemede buğday ve yem mısırı test bitkisi olarak kullanılmıştır. Denemede, yönetmelik stratejisi, toprağın pH'sı, bitkinin Cd alımını incelemişlerdir. Toprağın yem bitkisine hasat zamanı yapışması ve bu yolla hayvanlara transfer edilmesi araştırılmıştır. Bu modele göre, tatmin edici tahminler kadmiyum ve çinko alımı için bulunmuştur ancak az kullanışlı simülasyonlar Pb, bakır ve nikel için vardır. Sonuçlara göre, Cd alımı buğday bitkisinde, mısır bitkisine göre, toprağın pH'ına daha çok bağlıdır. Toprağa kireç ilave edilmesi ve pH'nın 7'ye getirilmesi, Cd konsantrasyonunu buğday tanesinde (yasal EC koşullarında) azaltıyor.

Arıtma çamurları, bünyelerinde organik bileşikler ve bitki gelişimi için gerekli makro ve mikro bitki besin elementlerini bulundurmaktadırlar. Azot ve fosfor içerikleri arıtma çamurlarının gübre değerini ortaya koymakta, organik madde içerikleri de bu materyalin toprak ıslah etme özelliği açısından ayrı bir önem taşıdığını göstermektedir (Epstein 2003).

Önal vd. (2003), farklı özelliklere sahip iki kentsel arıtma çamurunun domates bitkisinin kuru madde, meyve ürün miktarları ve bazı meyve kalite özellikleri ile mineral içerikleri üzerine etkilerini sera koşulları altında araştırmışlardır. Araştırma sonucu, toprağa artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının domates bitkisinin kuru maddesini, meyve ürün miktarlarını ve meyvede N, P, K, Mg ve Fe, içeriklerini artırdığını belirlemişlerdir.

Topcuoğlu vd. (2003), farklı özelliklere sahip iki kentsel arıtma çamurunun, domates bitkisinin bitki besin elementleri ve ağır metal içerikleri üzerine etkilerini sera koşullarında incelemişlerdir. Araştırmacılar toprağa artan miktarlarda uygulanan arıtma çamurlarının domates bitkisinin N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, Pb, Ni ve Cd içeriklerini artırdığını, düşük düzeylerde arıtma çamuru uygulamalarının bitki gelişimini olumlu yönde etkilediğini, bununla birlikte yüksek uygulama düzeylerinde fitotoksisite ve ağır metal içeriğinde artış olduğunu saptamışlardır.

Veeresh vd. (2003), arıtma çamuru ve uçucu kül uygulamalarının toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla, çeşitli oranlardaki arıtma çamuru ve uçucu kül karışımını 52 t/ha uygulama düzeyinde incelemişlerdir. Araştırmacılar yalnız arıtma çamuru uygulamasının toprakların elverişli azotunu, organik karbonunu, tuzluluğunu, su tutma kapasitesini, makro besin elementlerini ve ağır metal içeriğini artırdığını ve pH'sını düşürdüğünü saptamışlardır. Uçucu kül uygulamasının ise toprak özelliklerinde çok az bir değişime neden olduğunu bildirmişlerdir.

Ojeda vd. (2003), %16 eğim derecesindeki tın ve kum tekstüre sahip toprakların yüzey akış değerlerini ve erozyon kayıplarını azaltmak amacıyla sıvı, kompost ve termal olarak kurutulmuş arıtma çamurlarını 10 t/ha kuru madde içeriğini sağlamak üzere, sırasıyla 11,3, 13,8 ve 50 t/ha uygulama düzeyinde incelemişlerdir. Araştırmacılar termal olarak kurutulmuş arıtma çamuru uygulamasının her iki toprağın yüzey akış değerlerini ve erozyon kayıplarını düşürdüğünü saptamışlardır. Ayrıca bütün arıtma çamuru uygulamalarının toprakların sediment miktarını düşürdüğünü vurgulamışlardır. Araştırma sonucu, termal olarak kurutulmuş arıtma çamuru uygulamasının sıvı ve kompost arıtma çamuru uygulamalarına göre toprakların yüzey akış değerlerini ve erozyon kayıplarını önemli derecede düşürdüğü ve infiltrasyon değerlerini artırdığı belirtilmiştir.

Arıtma çamurlarındaki Zn, Cu, Pb ve Cd en çok kaygı duyulan metallerdir. Zn, Cu ve Pb fitotoksik etkilere sahip olmalarından ve Cd ise besin zinciri içine muhtemel girişinden dolayı önemlidir (Udom vd. 2003). Cd'un olası kanserojen etkisi, Pb'un

yüksek şekilde toksik ve biriken zehirlilik etkisi, Ni'in alerjik ve kanserojen etkisi bu metallerin mevcut konsantrasyonlarının mutlaka ektedir (Cuci vd. 2001, Yaman ve Bakirdere 2002). Bu metaller toprakta çok hızlı bir şekilde taşınırsa yer altı ve yüzeysel suların kirlenmesine de neden olmaktadır (Yingming ve Corey 1993, Korkmaz ve Kızılkaya 1998, Udom vd. 2003).

Bozkurt ve Yarılgaç (2003), arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulamalarının elma ağaçlarının meyve verimine, gelişimine, beslenme durumuna ve ağır metal birikimine olan etkisini incelemek amacıyla 2000 - 2001 yılları arasında Van ilinde Yüzüncü Yıl Üniversitesi Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan aerobik olarak stabilize edilmiş çamurla yürüttükleri çalışmada bir sefere mahsus olmak üzere 0 (kontrol), 10, 20, 40 ve 60 kg/ağaç (yaklaşık olarak sırayla 0, 1,3, 2,5, 5,0, 7,5 ton/da) düzeylerinde arıtma çamuru ve 25 kg/ağaç düzeyinde ahır gübresi uygulaması yapmışlardır. 2 yıl süren araştırma sonucunda kireçli toprağa arıtma çamuru uygulamasının meyve verimi, kümülatif verim etkinliği, sürgün gelişimi ve elma yapraklarının N, Mg, Fe, Zn ve Mn konsantrasyonlarını önemli düzeyde artırdığı ve bu artışların ahır gübresi uygulamasından daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Arıtma çamuru ve ahır gübresi uygulaması ağaç gövd.e gelişimi ve yaprak P, K, Ca, Ni, Cr ve Cd konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli bir değişikliğe sebep olmadığı ve uygulanan arıtma çamuru dozlarının elma ağaçlarında toksisite oluşturmadığı belirlenmiştir. Öte yandan arıtma çamurlarının uzun dönem tarımsal uygulamalarda kullanılmasının bazı ağır metallerin toprakta birikimine ve maksimum izin verilen sınırların üzerinde bitkilerde bulunmasına sebep olabileceği vurgulanmıştır.

Bilgin vd. (2003), ikinci kademe arıtım yapan kentsel nitelikli atıksu arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurlarının (biyokatıların), bitki verimi ve kalitesi ile toprak yapısına olabilecek etkilerini belirlemek amacıyla 1997 - 2002 yılları arasında Ankara ilinde uygulamalar yapmışlardır. Araştırmada üç farklı atıksu arıtma tesisine ait çamurların 1, 2, 3 ve 4 ton/da miktarlarında tarım arazisine uygulaması yapılmıştır. Başlangıçta araştırmanın üç yıl tekrarlamalı yapılması planlanmış ve Düzce Atıksu Arıtma Tesisinden alınan arıtma çamuru ile başlanmıştır. Ancak Düzce Arıtma Tesisinin sel baskınında hasar görmesi sonucu ikinci münavebenin başlangıcında bu

tesisten arıtma çamuru temin edilememiştir. Belirtilen nedenden dolayı münavebede ikinci yıl arıtma çamuru, Türkiye Elektrik Kurumu'na ait sosyal tesislerin atıksularının arıtıldığı tesisten temin edilmiştir. Üçüncü münavebe yılında ise, söz konusu tesis atıksularının Ankara ili kanalizasyon şebekesine bağlanması nedeniyle o yıl faaliyete geçen Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisinden alınan çamur kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan her üç çamur, temin edildiği tesislerin arıtım proseslerinin ve arıtılan atıksuyun özelliklerinin birbirinden farklı olması nedeniyle, içermiş oldukları azot, organik madde ve potansiyel toksik elementler gibi parametreler açısından farklı özellik göstermiştir. Arıtma çamuru uygulanan arazilerde “buğday + şeker pancarı + kuru fasulye” münavebe sistemi esas alınmıştır. Çamur sadece ekim nöbetinin ilk bitkisi olan buğdaya uygulanmış, bakiye etkinin izlendiği şekerpancarı ve fasulye yıllarında çamur uygulaması yapılmamıştır. Araştırma sonuçları ve önerileri aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Münavebe denemelerinde uygulaması ilk yıl yapılan çamurlar üçüncü yıl onunda toprağın, pH, tuz, kireç, organik madde ve alınabilir potasyum kapsamında herhangi bir değişikliğe neden olmamış, artan çamur miktarlarına bağlı olarak toprağın alınabilir fosfor kapsamı “orta” seviyeden “yüksek” seviyeye çıkmıştır.
- Araştırmada, Düzce Atıksu Arıtma Tesisine ait çamurların üçüncü yıl, Ankara Atıksu Arıtma Tesisine ait çamurların ise ilk yıl toprağın potansiyel toksik element kapsamına etkisi belirlenebilmiştir. Buna göre, çamur uygulamalarının kontrol olarak ele alınan optimum ve gübresiz konularına göre toplam çinko hariç topraktaki toplam civa, kadmiyum, krom, kurşun, nikel ve bakır miktarlarında herhangi bir artışa neden olmadığı tespit edilmiştir.
- TEK ve Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesislerine ait çamurların içermiş olduğu potansiyel toksik element miktarlarının farklı olması bu materyallerle yetiştirilen buğday bitkisi tanelerinin potansiyel toksik element kapsamı açısından bir fark yaratmadığı ortaya konmuştur. Yine her iki tesise ait çamur uygulamaları sonucu buğday tanesinde potansiyel toksik element miktarları bakır ve çinko hariç değişiklik göstermemiştir. Bakır miktarı 3 ton/da, çinko miktarı ise 2 ton/da arıtma çamuru dozundan başlamak üzere artan dozlara bağlı olarak artmıştır. Üç farklı tesisten temin edilen çamur ile yürütülen araştırmanın üçüncü yılı sonunda, toprağın alınabilir mangan

ve bakır miktarında önemli bir değişiklik yaratmadığı, alınabilir demirde az bir artış sağlanırken bu artışın en fazla alınabilir çinko miktarında olduğu belirlenmiştir.

- Çamur uygulamalarının araştırmada yer alan bitkilerin verimlerine etkileri ele alındığında, çamurların 1-2 ton (kuru madde)/da miktarının Orta Anadolu sulu ekim nöbeti sisteminde (Buğday- Şeker.Pancarı-Kuru.Fasulye) optimum gübreleme ile elde edilebilecek verimi sağlamak üzere önerilebileceği ortaya konmuştur.
- Çamur uygulama miktarlarının hiçbirisi çimlenme, çıkış ve gelişmeyi olumsuz etkilememiş sadece 4 ton/da çamur uygulamasının, buğday denemelerinde başaklanma döneminden sonra yatmaya neden olduğu gözlenmiştir.
- Araştırmada kullanılan çamurların buğday sap verimi ve dane ağırlığı üzerine artan dozlara bağlı olarak olumlu etki yaptığı belirlenmiştir. Diğer taraftan her üç tesise ait çamurun buğday tane protein oranını 2 ton/da dozundan başlamak üzere arttırdığı ve buna bağlı olarak kalite üzerine olumlu etki yaptığı tespit edilmiştir.

Altınbaş v.d. (2004), İzmir Büyükşehir Belediyesi İZSU Atıksu Arıtma Tesisi'nden çıkan çamurların tarımsal bitki üretiminde organik gübre olarak kullanılabilirliğini incelemek amacıyla 2002 yılında İzmir ilinde yaptıkları ilk çalışmada test bitkisi olarak lahana, karnabahar, brokoli, pırasa ve ıspanak gibi kışlık sebzelerin yetiştirildiği topraklara 13 ton/da arıtma çamuru uygulaması yapmışlardır. Çalışma sonrasında bitkiler üzerinde yapılan ağır metal analizlerinde elde edilen verilerin (Fe, Mn, Cu, Zn, B, As, Cd, Cr, Hg, Co, Ni, Se, Mo ve Pb konsantrasyonları) mevcut sınır değerlerin oldukça aşağısında bulunduğu görülürken sebzelerin vejetatif gelişim süreçlerinin iyi sonuçlar verdiği ve hasat sonrası yapılan ölçümlerde bitki verimlerinin normalin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bitkiler üzerinde yapılan mikrobiyolojik analizlerde pırasa, brokoli ve lahanada sırasıyla 240, 23, 75 adet/g toplam koliform, pırasada 7 adet/g E.coli , ıspanakta 105 kob/g toplam bakteri saptanmıştır. Bu bulgular sebebiyle çamurların toprakta doğrudan gelişim gösteren kök, gövd.e, yumru vb. konumları yenilen bitkilerde kullanılmamasının uygun olacağı vurgulanmıştır. Yapılan ikinci çalışmada, İZSU çamurlarının üzüm bağlarında organik gübre olarak kullanılabilirliğini incelemek amacıyla 2003 tarihinde İzmir Menemen Ovası'nda 0 (kontrol), 3, 6 ve 9 ton/da düzeylerinde arıtma çamuru uygulaması yapılmıştır. Çalışma sonrasında bağ arazisi hasat sonrası alınan toprak örneklerinin alınabilir makro ve mikro bitki besin

elementleri yönüyle yeterli sınırlarda olduğu, ancak yüzey altı toprak örneklerinin K ve Zn içeriği bakımından yeterli olmadığı belirlenmiştir. Mineral besin maddelerinin bitkiler tarafından alınabilirliği yönünden topraklarda herhangi bir toksisite belirlenmemiştir. Ayrıca, analiz edilen bu topraklarda çamurlardan kaynaklanan ağır metal kirliliği tespit edilmemiştir. Hasat sonrası yaş üzümelerde yapılan analizlerde çamur uygulamasının ürünler üzerinde herhangi bir toksik etki göstermediği belirlenmiştir. Organik gübre olarak kullanılan arıtma çamurları, toprakların fiziksel, kimyasal ve fizikokimyasal özellikleri üzerinde olumlu etkiler gösterirken, yine bağ topraklarında bitki gelişimi için mutlak zorunlu olan azot, organik madde, fosfor, potasyum, demir içeriklerinin artmasında olumlu katkıları olmuştur. Yaş üzümeler üzerinde yapılan mikrobiyolojik analizlerde ise 90 - 3x10⁴ kob/g toplam bakteri, 102 – 7x10³ kob/g maya, 2x10³ – 5x10⁵ kob/g küf (*Aspergillus* ssp.) saptanmıştır. Yaş üzümelerde bulunan bu yoğunluklar bunların yaş meyve olması ile yüzeylerdeki birikimlerden kaynaklanırken, bunların taze olarak kullanılmadan önce su veya dezenfekte edici maddelerle yıkanmasının mutlak olduğu görülmektedir.

Obek vd. (2004)'e göre, organik gübrelemenin güncellik kazanması, arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanımın daha da önemli hale getirmiştir. Arıtma çamurlarını yüksek organik madde içermesinden dolayı toprağın organik madde ve bitki besin elementlerimiktarına artıramasını, su tutma kapasitesi, havalanma gibi fiziksel özelliklerini iyileştirmesi, mikrobiyal aktiviteyi artırması, içeriğindeki makro ve mikro besin elementlerinin atığa faydalı bir gübre özelliği vermesinden dolayı tarım alanlarında kullanımı tercih edilmektedir. ABD çevre koruma örgütü (EPA) başta olmak üzere bir çok ülkedeki yetkili kuruluş arıtma çamuru gibi biyolojik katıların tarımda kullanımını desteklemeye başlamışlardır.

Hanay vd. (2004), çöp kompostunun tuzlu-alkali toprakların ıslahı üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla 5, 10 ve 15 t/da uygulama düzeylerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, jips uygulamasının ardından artan düzeylerde çöp kompostu uygulamasının, tuzlu-alkali toprakların kütle yoğunluğunu düşürdüğünü, bununla birlikte poroziteyi, hidrolik iletkenliği, suya dayanıklı agregatları, doyma kapasitesini, tarla kapasitesini, solma noktasını, higroskopik nem sabitesini, organik madde

miktarını, pH'yı, elektriki iletkenliği ve değişebilir sodyum yüzdesini artırdığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar yalnızca jips uygulamasının toprakların kimyasal özelliklerini iyileştirdiğini, fiziksel ve biyolojik özelliklerinde ise herhangi bir değişim meydana getirmediğini vurgulamışlardır. Sonuç olarak, yalnızca jips uygulamasının tuzlu-alkali toprakların ıslahı için yeterli olmadığı, jips uygulamasının ardından çöp kompostu uygulamasının toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olumlu etkilerde bulunacağı belirtilmiştir.

Lixandru (2005), atık çamurun fosfor ve nitrogen düzüneyici olarak kambik çernozom topraklarında uygulamasını ve inorganik gübreler (NH_4NO_3 ve KCl) uygulamasıyla etkisini kıyaslama için deneme çalışması yapmıştır. Bu deneme 10 senelik, iki ekim nöbetinde (patates, kışlık buğday, mısır ve ikinci nöbet mısır, patates, kışlık buğday) yapılmıştır. Uygulanan atık çamur patates'de 65,130 ve 195 t ha^{-1} 'da sırasıyla ve mısır 30,60 ve 90 t ha^{-1} 'da, sadece atık çamur ve azot ve potasyomla inorganik gübre olarak beraber uygulanmıştır. Sonuçlara göre, 1000 kg hava kuru atık çamurda yaklaşık 200 kg organik madde, 6 kg azot, 8 kg P, 2 kg K, 30 kg Ca ve 10 kg çözülebilir tuz bulunmaktadır. Ağır metal miktarı maksimum izin verebilir limitlerin altında tespit olunmuştur, sadece Zn miktarı 4140 ve 5378 ppm bulunmuştur. Patates bitkisinde,65 t ha^{-1} 'da atık çamur uygulaması, 100 kg yumrulara, 1 ton atık çamur uygulamasıyla artış göstermiştir. Yıllık yağış miktarı önemli miktarda verimi yükseltiyor. 65 t ha^{-1} 'da atık çamur uygulamasından elde edilen azot 8.5% ve 195 t ha^{-1} uygulamasında %2.5'dir. Mineral gübre kullanımında meydana gelen azot eksikliği, atık çamur uygulamasına göre 3 kat daha fazladır. Atık çamurun mısırdaki kullanılması, her 1 ton atık çamur (30 t ha^{-1}) 23.2 tane verimini artmıştır ve bu miktar 90 t ha^{-1} 'da uygulamasında sadece 13.2 kg/1 ton'da tespit olmuştur. Gübreyle kıyas edildiğinde verim artması düşüktür. Atık çamur (65 t ha^{-1}) uygulaması, toprağın pH'sını 0.2 birim, 3 sene sonra Ca artmasından dolayı artış göstermektedir. 65 t ha^{-1} atık çamur uygulamasında elde edilebilir fosfor önemli miktarda artış göstermiştir. Toplam bakır, nikel, kurşun, kobalt ve mangan miktarı her iki dozda toprağın metallerin artmıştır iki ve 3 kat çinkonun artmasına sebep olmuştur ancak Cd miktarı değişmemiştir. Sonuçlara göre, atık çamur en az 3 sene 30-60 t ha^{-1} kalıntısı olabilir.

Hernández-Apaolaza vd. (2005), çam kabuğu, Hindistan cevizi lifi ve arıtma çamurları gibi atık maddelerin süs bitkisi yetiştiriciliğinde kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Araştırmada çam kabuğu, çam kabuğu-%15 arıtma çamuru, çam kabuğu-%30 arıtma çamuru, Hindistan cevizi lifi, Hindistan cevizi lifi-%15 arıtma çamuru ve Hindistan cevizi lifi-%30 arıtma çamuru karışımlarının fıstık çamı, mavi servi ve piramit servi bitkilerinin gelişimi üzerine olan etkileri belirlenmiştir. Araştırma sonucuna göre, yetiştiricilik açısından en uygun karışımın %30 arıtma çamuru içeren karışımlar olduğu saptanmıştır.

Mantovi vd. (2005), sıvı, susuzlaştırılmış ve buğday samanı ile karıştırılmış arıtma çamuru uygulamalarının, toprakların ve bitkilerin bazı özelliklerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yıllık 5 ve 10 t/ha uygulama düzeylerini 12 yıl süre ile incelemişlerdir. Çalışma sonucu, sıvı ve susuzlaştırılmış arıtma çamuru kullanımının yüksek azot içerikleri nedeniyle şekerpancarı bitkisinin kalitesini düşürdüğü ve buğdayda yatmaya neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca arıtma çamuru uygulamalarının toprakların organik madde, toplam azot ve elverişli fosfor içeriklerini artırdığı, toprak alkalinitesini ise düşürdüğü saptanmıştır.

İşgenç ve Kınay (2005)'e göre, Türkiye'de endüstriyel gelişmenin yetersizliği ve son yıllarda endüstriyel tesislerin önemli bir bölüm n organize sanayi bölgelerinde kurulması, kentsel atık su içerisindeki endüstriyel atık su miktarlarının düşük kalmasına yol açmaktadır. Bunun bir sonucu olarak da Türkiye'deki kentsel atık su arıtma tesisi çamurlarındaki ağır metal konsantrasyonları düşük kalmaktadır.

Işık vd. (2005), arıtma çamuru uygulamalarının verim üzerine etkisini belirlemenin yanında, uygulandığı toprakların ve bu topraklarda yetiştirilen bitkilerin ağır metal kapsamındaki değişimleri incelemek amacıyla 1999 - 2005 yılları arasında Konya Ovası'nda optimum N+P, 0 (kontrol), 3 ton/da ve 6 ton/da düzeylerinde arıtma çamuru uygulaması yapmışlardır. Arıtma çamuru uygulanan arazilerde "buğday + patates + fasulye" münavebe sistemi esas alınmış, arıtma çamuru ilk yıl buğday bitkisi ekiminden önce toprağa verilmiştir. Bulgular şu şekilde özetlenebilir. Arıtma çamuru uygulaması ile uygulama yılında toprakta pH düşmüş, bakiye yıllarında uygulama yılına göre

yükselmiştir. Uygulama yılında topraktaki tuz, organik madde, fosfor ve potasyum konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir. Bakiye yıllarında ise kontrol grubuna kıyasla, tuz miktarı azalmış, organik madde miktarı 1. bakiye yılında artarken II. bakiye yılında değişmemiş, fosfor konsantrasyonu 2. bakiye yılı itibarıyla hala pek çok bitkinin fosfor ihtiyacını karşılayacak seviyede kalmış, potasyum konsantrasyonu ise artış göstermemiştir. Denemelerde kullanılan arıtma çamuru, uygulama yılında her üç bitkide de verimde düşmeye sebep olmuştur. Arıtma çamuru deneme alanlarının fosforca zengin olması ve azotlu gübre ihtiyacının diğer bitkilere göre az olması sebebiyle bakiye yıllarında fasulyede belirgin bir verim artışı sağlamamış, uygulama yılının aksine buğday ve patatesten verim artışına sebep olmuştur. Verimdeki bu artışlar 4. bakiye yılına kadar, yeterli miktarda azotlu ve fosforlu gübre uygulamalarına kıyasla daha yüksek veya aynı seviyede tespit edilirken 5. bakiye yılında arıtma çamuru verim artırmada etkili olmamıştır. Arıtma çamuru uygulaması, toprakta bakır Zn, Mn, Fe, Ni, Cd ve Pb kapsamını artırmış olmakla beraber toksik seviyelere yükseltmemiştir. Arıtma çamuru uygulaması ile yükselen ağır metal kapsamı, Cd dışında II. bakiye yılı ekim öncesine kadar yüksek seviyelerini korumuşlardır. Arıtma çamuru hem uygulama yılında hem de bakiye yıllarda, buğday ve fasulyede yaprak ve danelerin Cu ve Zn konsantrasyonlarında, patatesin yaprak ve yumrularında Ni konsantrasyonunda artışa sebep olmuştur.

Göçmez (2006), doktora tez çalışmasında Menemen Ovası topraklarında arıtma çamuru uygulamalarının mikrobiyal aktivite ve biyomas ile bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkisini incelemek amacıyla 2 yıl süreyle İzmir ilinde İzmir Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan kireçle stabilize edilmiş çamurla yürüttüğü çalışmada bir sefere mahsus 1, 2, 3, 4 ve 5 ton/da düzeylerinde arıtma çamuru uygulaması yapmıştır. Arıtma çamuru uygulanan arazilerde “buğday + pamuk” münavebe sistemi esas alınmış, arıtma çamuru ilk yıl buğday bitkisi ekiminden önce toprağa verilmiştir. 2 yıl boyunca belirli aralıklarla alınan toprak örneklerinde, arıtma çamuru uygulamalarının topraktaki biyomas-C'u, CO₂ oluşumunu, N-mineralizasyonunu, dehidrogenazı, alkalın fosfotaz ve β -glukozidazı istatistiksel anlamda artırdığı, üreaz aktivitesi üzerinde önemli bir etki oluşturmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, toprak pH'si, EC, kireç, organik madde, katyon değişim kapasitesi (KDK), toplam N, Fe, Cu, Zn, Mn,

Pb ile alınabilir P, K, Fe, Cu, Mn ve Zn konsantrasyonlarının arıtma çamuru uygulamaları ile istatistiksel anlamda arttığı tespit edilmiştir. Arıtma çamuru ile toprakta artan organik madde miktarı topraktaki mikrobiyal biyomas ve enzim aktivitesini olumlu etkilemiştir. Bu etkinin sebebinin, arıtma çamurunun ağır metal içeriğinin izin verilen maksimum konsantrasyonlardan düşük olması ve tek uygulama yapılması olduğu düşünülmüştür. Buğday ve pamuk veriminde 3 ton/da dozundan sonra önemli artışlar meydana gelmemiştir. Arıtma çamuru uygulamaları ile buğday danesinin Mg, N ve B içeriğinin önemli miktarda arttığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçların kullanılan arıtma çamurunun, deneme toprağının ve yöre iklim koşullarının (Akdeniz iklimi) etkisi altında ortaya çıktığı, farklı koşullar altında sonuçların değişebileceği, bu nedenle de bulguların genelleştirmeden kullanılması gerektiği vurgulanmıştır.

Işık vd. (2006), tarımda kullanılan arıtma çamurlarının içerdiği potansiyel toksik elementlerin topraktaki bakiye etkilerini ve bitkiye geçen miktarı ile bitki gelişimi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla bu çalışmayı yürütmüşlerdir. Araştırma, patates+buday, buday+patates ekim nöbetlerinde ve 4x3 tesadüf blokları deneme metoduna göre yürütülmüştür. Araştırmada, hiç bir gübre uygulamasının yapılmadığı kontrol, bitkilerin optimum MP ihtiyacı, seton/da arıtma çamuru uygulaması ve 6 ton /da arıtma çamuru uygulaması deneme konusu olarak alınmıştır. Arıtma çamuru, mühtemelen tuz kapsamının yüksek olmasına bağlı olarak, uygulama yılında denemeye alınan patatesten verim azalmasına sebep olmuştur. Bakiye yıllarında ise optimum MP seviyesinde verim artışı sağlamıştır. Bu artışlar 4. Bakiye yılına kadar sürmüştür. Arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak, toprakta organik madde, elektriksek iletkenlik, yarıyışlı fosfor ve potasyum ile ekstrakte edilebilir Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Pb, Ni, miktarları artmıştır. Uygulama yılın takip eden I. ve II. Bakiye yıllarında toprakların ağır metal kapsamında barız bir azalma görünmüştür. Arıtma çamuru uygulaması denemeye alınan patates bitkisinde bazı ağır metallerin artmasına sebep olmakla beraber bu değerler normal sınırları aşmamış ve insan sağlığının tehdit eder seviyelere ulaşmamıştır.

Hanay ve Hasar (2007) yaptıkları çalışmada, Kayseri ili kentsel atık su arıtma tesisinden elde edilen nihayi arıtma çamurunun tarımsal amaçlı kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla, temin edilen çamur numunelerinden, çeşitli ağır metale konsantrasyonlarına ve çamurun stabilitesini belirlemek amacı ile spesifik oksijen tüketim hızına bakılmıştır. İncelenen ağır metallerden bakır ve kurşun değerleri 1750 ve 1200 mg/kg olup, standart değerlerinden yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, çamurun spesifik oksijen tüketimi hızı 0.62 mg/g katı madde saat olarak bulunmuştur. Bu değer çamurun stabil bir çamur olduğunu göstermektedir. Özetle, Kayseri ili atık su arıtma tesisinden kaynaklanan arıtma çamurunun araziye uygunluğunun belirlenmesi amacıyla özellikle çamurun kalite kriterlerinden olan ağır metal içeriklerinin değerlendirilmesi sonucu çamurun ağır metal konsantrasyonunun yüksek olduğu bulunmuş ve arıtma çamurlarına her hangi bir işlem yapılmadan direk tarımsal alanlara uygulanmasının mümkün olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, bu çamurun elektriksel iletkenliğinin yüksek olması toprakta mikrobiyal aktiviteye etkileyen önemli bir faktör olup özellikle fazla tuzlu çamurun toprağa ilavesiyle topraktaki nutrientlerin döngüsü azalmakta ve fitotoksiditeye neden olmaktadır. Bu nedenle, sözü edilen arıtma çamurunun tarımsal toprağa uygulanması uygun değildir.

Ailincai vd. (2007) tarafından 2003-2005 yılları arasında deneyler yürütülmüş, bu deneylerde, 5 sene ekim nöbetinde (soya-buğday-mısır-ayçiçeği-buğday), farklı miktarlarda mineral gübre karışımı ile birleştirilmiş 3 farklı dozlarda atık çamur (20, 40 ve 60 t ha⁻¹) uygulanmıştır. Farklı oranlarda uygulanan atık çamurla tedavi edilen topraktan alınan ağır metal içeriklerindeki veri analizi ile şu bulundu: Laşi Su Arıtma Tesisi'nden alınan atık çamur, Avrupa Topluluğu ülkeleri ve Romanya'daki mevcut kanunlar tarafından İzin verilen maksimum limitlere uygundu. Elde edilen sonuçlar gösterdi ki, ham atık çamur 30 t/ha (18.5 t/ha kuru madde) oranında uygulandığında, Norm 86/278/AET tarafından öngörülen izin verilebilir maksimum limitler aşılmamıştır. 60 t ha⁻¹ (37 t/ha kuru madde) oranında ham atık çamurun uygulandığında, limitler sadece çinko miktarı için aşıyor. 40 t ha⁻¹ oranında atık çamur uygulaması, ürünlere verilen mineral miktarında (özellikle azot ve fosfor) artışına sebep olmuştur. Bu aynı zamanda, ortalama yıllık 3.76 t / ha yüksek oranda humuslaşmış organik madde temini ile sonuçlanmıştır. Bu, toprağın humus miktarının % 2.79 dan %3.9'a

yükselmesini de açıklamaktadır. Atık çamurla gübrelenmiş mısır bitkisinde, bakır ve nikel konsantrasyonu normal limitler arasında tespit edilmiştir. Analizlerin sonuçları, Cr, Co, Cd, Pb, As ve Hg elementlerinin mısır bitki ve tohumunda yokluğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, mısır bitkisine uygulanan atık çamurun, ekili ürünlerin kalitesinde etkisi olmadığını kanıtlamıştır. Atık çamur 24.6 t ha^{-1} kuru madde şeklinde uygulandığında, toprakta biriken 42 ppm yoğunluğundaki ve mikro element içeriğindeki (topraktaki mobil formlar) değişken fosfatlar, bakır için 12.1 ppm, bor için 0.35-0.48 ppm, çinko için 155 ppm ve mangan için 406 ppm şeklindedir.

Khan (2007)'e göre, atık çamurların yüksek miktarda besin ve organik madde içermesi, atık çamurları, toprağın verimini ve bitki verimini geliştirmek için mükemmel bir gübre yapmaktadır. Ancak, atık çamurdaki ağır metallerin varlığı, atık çamurun uygulanmasında problem oluşturmaktadır. Pakistan'da atık çamur uygulama tesisi olmadığı için, genellikle, çamur doğrudan tarım topraklarına karıştırılmaktadır. Kentsel atık çamurların yüksek derecede toksik madde içermesi nedeniyle, bu toksik metallerin bitki tarafından alınması ve toprakta birikmesi tehlike oluşturmaktadır. Bu araştırma, stabilize olmayan (ham) atık çamurun, toprağa metal eklenmesi kadar, buğday verimi ve metallerin tohum tarafından alınmasının etkisini tanımlamak için yapılmıştır. Atık çamur 0, 10, 20, 40 ve 80 Mg ha^{-1} oranlarında uygulanmış bunun yanı sıra NPK miktarı (120:60:60) standart şekilde sabit tutulmuştur. Deneme sonuçlarına göre, 80 Mg ha^{-1} oranındaki atık çamur uygulaması, kontrol denemesine kıyasla daha verimli olduğu görülmüştür ($p \leq 0.05$). Atık çamur uygulaması, buğday tanesindeki çinko ve kadmiyum miktarını izin verilen limitler dâhilinde yükseltmişken, bakır ve kurşun miktarında önemli bir artış sağlamamıştır. Toprağın analiz sonuçlarına göre, DTPA ile alınabilir çinko ve bakır miktarında önemli miktarda artış tespit edilmiştir ancak 0.1 azot içeren HCl ile alınabilir kurşun ve kadmiyum da önemli bir artış görülmemiştir. Buna göre, atık çamur uygulaması ürün verimini artırmaktadır ancak atık çamurun aynı zamanda metal kaynağı olması, uygulanması sırasında dikkat gerektirmektedir.

Dölgen vd. (2007), yaptıkları çalışmada bitki işleme sektöründe faaliyet yapan iki farklı işletmenin biyolojik atıksu arıtma tesisinden çıkan arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Deneyesel çalışmalar kapsamında öncelikle çamurun

karakterizasyonu belirlenmiş, ardından değişik oranlarda çamur-kompost (toprak, kum ve çiftlik gübresi) karışımları hazırlanarak saksılara doldurulmuştur. Beş tekerrürlü olarak planlanan denemelerde seçilen bitki fideleri saksılara dikilmiş, bitki büyümesini takiben hasat sonrası alınan örneklerde bitkilerin gelişimi izlenmiş, ayrıca ağır metal birikimi ölçülmüştür. Sonuçlar bitki gelişmesinin çamur oranından (yükünden), azot, fosfor ve potasyum gibi besin maddelerinden ve tuz içeriğinden etkilendiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda bitki işleme çamurunun besin maddesi içeriğinin yüksek olması bitki gelişimini desteklemiştir. Tamamen çamur kullanılarak yapılan deneylerde en düşük Yaprak sayısına ulaşılması ise tuzun toksik etkisi ile açıklanmıştır. Bitkisel yağ üretimi çamuru denemelerinde, besin maddesi noksanlığı ve alkalın koşulların bitki gelişimini olumsuz etkilediği kanatine varılmıştır. Ayrıca, her iki çamurun metal içeriklerinin düşük olması nedeniyle uygulamalar sonucunda bitkide önemli ölçüde ağır metal artışının olmadığı tesbit edilmiştir.

Küçükhemek vd. (2008), yaptıkları arazi çalışmasında, evsel karakterli arıtma çamurunun (AÇ), ahır gübresi (AG) ve AÇ+AG'nin üç farklı karışımlarının ($\frac{1}{4}AÇ+\frac{3}{4}AG$, $\frac{1}{2}AÇ+\frac{1}{2}AG$ ve $\frac{3}{4}AÇ+\frac{1}{4}AG$), çim bitkisinde bazı makro (N, P, K, Ca, Mg) ve mikro (Zn, Cu, Mn, Pb, Cd) element içerikleri ile verim üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Deneme, dört farklı oranda toprağa (0, 40, 80 ve 120 t/ha) organik materyal uygulaması yapılarak, iki yıl süreyle arazi koşullarında üç tekerrürlü olarak faktöriyel deneme deseninde yürütülmüştür. Deneme sonunda, arıtma çamuru uygulamasının çim bitkisinin verim ve bazı besin elementleri içeriğini kontrol ve diğer organik materyal uygulamalarına göre artırdığı görülmüştür. Çim bitkisinin taze ağırlığı çamur uygulamasında ahır gübre- sine oranla 3.3 kez arttığı görülmüştür. Öte yandan 40 ve 80 ton ha-1 uygulamalarında hem verim hem de besin kapsamı artmıştır. Çamur uygulamaları çim bitkisinin N ve K içeriğini kontrol uygulamasına göre artırmıştır. Diğer taraftan bitkinin man- gan muhtevası çamur uygulaması ile azalmış ve bu değişim istatistiki açıdan önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. P, Ca, ve Mg bakımından da uygulamalar arasındaki fark önemli ($p<0.01$) bulunmuştur. Deneme sonunda sonuçlar, verim ve bazı besin elementleri içeriklerinin ahır gübresi uygulamasına göre, arıtma çamuru uygulamasında artışlar olduğunu göstermiştir. Diğer uygulamalarda ise çim

bitkisinin taze ağırlığını önemli ölçüde artırmıştır. Benzer şekilde, çim bitkisinin bazı besin elementi muhtevası hektara 40 ve 80 ton uygulamaları ile artmıştır.

Özyazıcı (2008), Bafra Ovası' nde buğday+lahana+domates münavebesi için geçerli olmak üzere arıtma çamuru tarla kullanılacağı zaman, bitkilerin agronomik verilerine göre dekara 2 ton verilmesi önerilebilmektedir. Bu miktardan fazla arıtma çamuru verildiğinde ise verimde önemli düşüşler meydana gelmektedir. Tavsiye edilen bu miktar arıtma çamur uygulamasında ise, toprak analiz sonuçlarına göre, TKKY'nde belirtilen sınır değerleri aşan,(toprağın) toplam, kurşun, kadmiyum, krom, bakır, nikel ve çinko kapsamlarında herhangi bir birikime neden olmadığı tespit edilmiştir.

Wang vd. (2008), arıtma çamurunun toprak ve çimin ağır metal içeriğine etkisini belirlemek amacıyla tarla denemesi yürütülmüştür. Arıtma çamuru 0, 15, 30, 60, 120 ve 150 tha^{-1} dozlarında uygulanmış, *Zoysia japonica* ve *Poa annua* çim çeşidi deneme materyali olarak kullanılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, toprağın besin madde içeriği ve organik madde içeriği ilavesiyle beraber artmıştır. Çim bitkisinin biokütlesinde de çamurla beraber artış belirlenmiş. Toprağın ağır metal miktarlarında da çamurla beraber artış gözlenmiş, sadece çink, kurşun ve bakır bakımından Çin devleti tarafından konulan çevre limit değerlerinin altında Zn, Pb, Cu belirlenmiş, kadmiyum ise limit değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Bundan dolayı bu denemede kullanılan arıtma çamurlarının tarım alanında kullanılmaması gerekmektedir. Bu tür çamurların besin zinciri yoluyla Cd'un bulaşmayacağı ormanlık arazilerde ve çim alanlarıyla rekreasyon amaçlı alanlarda kullanılması uygundur.

Anderson vd. (2008), İngiltere'de arıtma çamurları ile beraber verilebilecek maksimum limit değerlerinin belirlenmiş olmasına rağmen, bu limit değerlerinin altında ağır metal içeren çamurların toprağa ilave edilmesi durumunda toprağın biyolojik çeşitlilik ve aktivitesi üzerinde etkilerini belirlemek amacıyla bu çalışmayı yürütmüşlerdir. Çalışmanın sonuçlarına göre, çamur ilavesiyle artan organik madde miktarına bağlı olarak toprağın mantar popülasyonu ve çeşitliliğinde değişiklik olmasına rağmen, toprakta limit değerlerin üzerinde metal konsantrasyonunun artış göstermesi DNA ve RNA profilinde çok küçük değışikliğe neden olmuştur. Toprağa ağır metal limit

değerlerinin altında Cd, Cu ve Zn içeren çamur ilavesinden sonra metal miktarında artış olmamasına rağmen mantar kominite yapısına ve RNA ve DNA profilini değiştirmiştir, buna da arıtma çamurunun çeşiti etkili olup arıtma çamurunun digest edilmesi veya edilmemiş olması mantar kominite yapısı üzerinde, çamurun ağır metal miktarından daha fazla etkiye sahiptir. Bu sonuçlara göre, mevcutta yürürlükte olan UK çamur ağır metal sınır değerleri toprağın mantar kominitesine olumsuz etki yapmamaktadır.

Sahin vd. (2008)'e göre, tuzlu ve alkali toprakların dispersiyon özelliğinden dolayı yıkanmaları zordur. Bundan dolayı donma ve çözünmenin toprağın fiziksel özellikleri üzerindeki negatif etkisi ucuz ve pratik yöntemlerle azaltılabilir. Bu çalışmada toprağa %10, 20 ve 30 dozlarında arıtma çamuru ve uçucu kül ilavesinin 3 farklı dozda (3, 6 ve 9) donma ve çözünme uygulamasının toprağın geçirgenliği ve değişebilir sodyum yüzdesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Labratuvar koşullarında yürütülen çalışmada bozulmamış ve ürün yetiştirilmemiş toprak örneklerine yukarıda belirtilen dozlarda çamur ve kül ilave edilmiş, çamur ilave edilmiş toprağın kül ilave edilmiş topraktan daha fazla agregat stabilitesi, geçirgenlik ve daha düşük boşluklar hacmi içerdiği belirlenmiştir. Toprağa %30 çamur uygulanmasının toprakta donma ve çözünmenin negatif etkisini ortadan kaldırdığı da saptanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, toprağa arıtma çamuru ve uçucu kül ilavesi tuzlu ve alkali topraklarda donma ve çözünmenin negatif etkisini azaltmada alternatif yoldur.

Topaç ve Başkaya (2008) yaptıkları çalışmada, evsel nitelikli arıtma çamurlarının bitki besin düzeyleri incelemişlerdir. Bu amaca yönelik olarak altı farklı kaynaktan alınan evsel nitelikli arıtma çamurlarında serbest+değişebilir potasyum, bitkiye yarayışlı fosfor, toplam azot ve farklı mikrobiyal ayrışma direncine (yarayışlılık derecesine) sahip önemli organik azot fraksiyonları belirlenmiştir. Elde edilen bulgular çamur örneklerinin azot içeriği (%3.5 ila %6.2) yönünden topraklara önemli gübre etkisi yapılabileceğini göstermiştir. Öte yandan, incelenen çamurların araziye uygulanması ile potasyum ve fosfor içeriği bakımından toprağa küçük bir katkı sağlanabilecektir. Araştırma sonuçları, arıtma çamurlarının azotlu gübre değerinin değerlendirilmesi için sadece toplam azot içeriğinin belirlenmesinin yeterli kriter olmayacağını da ortaya koymaktadır. Kısa ve uzun vadede yarayışlı formlara dönüşebilecek organik azotu ifade

eden hidroliz olabilir (HO) toplam organik azot konsantrasyonlarının çamurdan çamura farklılık gösterdiği ve bu fraksiyonun çamurdaki toplam azotun %66 ila %81'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. İncelenen çamurlardaki HO organik azotu oluşturan fraksiyonlar, HO toplam organik azot içindeki itibarıyla, amid azotu > tanımlanmayan azot > α -amino azotu > heksozamin azotu şeklinde sıralanmaktadır.

Bertoncini vd. (2008), Brezilya'da kumlu bünyeli Oxisols toprağa arıtma çamur ilave ettikleri çalışmada, çamur ilavesinin toprağın C, N ve P kapsamı ile beraber katyon değişim kapasitesinin de arttığını rapor etmişlerdir.

Delibacak vd. (2009), İzmir Menemen'de yürüttükleri çalışmada, toprağa 30, 60 ve 90 t/ha dozlarında arıtma çamuru uygulamışlar ve birinci ürün olarak fıstık bitkisi, 2. ürün olarak da arpa ve bakla bitkileri yetiştirilmiştir. Denemenin 5 döneminde toprak örnekleri alınarak analiz edilmiş, analiz sonuçlarına göre toprağa arıtma çamuru ilavesi sonucu toprak tuz mikrarı, organik madde miktarı, toplam, makro ve mikro porozite, tarla kapasitesi, yarayışlı su miktarı ve agregasyon yüzdesi kontrol toprağına kıyasla artış göstermiş, pH ve kireç içeriklerinde önemli bir fark belirlenmemiştir. Fıstık çamı bitkisinin iz element ve bazı ağır metal içerikleri çamur uygulanmış topraklarda artış göstermiş olsa da bu değerler sınır değerlerin altında bulunmuştur. Arıtma çamurunun topraktaki mineralizasyonuna bağla olarak çamurun toprak özelliklerine etkisi zamana bağlı olarak azalmıştır. Arıtma sonuçlarına göre 90 t /ha arıtma çamuru 2 yılda bir kez toprağın özelliklerini iyileştirmek için uygun dozdur.

Tamrabet vd. (2009)'e göre yarı kurak tarım koşullar altında, toprağın bozulması hızlı bir süreçtir ve bu sürecin hızı atık çamur kullanımıyla azaltabilir. Ayrıca bu sürecin sonucunda oluşan atıkların veriminin devamlılığı için de iyi bir bertaraf yoludur. Araştırmacılar makarna buğdayının (*Triticum durum Desf*) verimi ve büyümesinin üzerine, atık çamur uygulamasının etkilerini araştırmak için bir tarla denemesi kurulmuştur. Denemeler filizlenme aşamasında, 33 kg ha⁻¹ azot, 20, 30 ve 40 ton ha⁻¹ kuru atık çamur içeren mineral gübreleme uygulaması ve kontrol uygulamalarından oluşmaktadır. Sonuçlara göre, tane ve bitki verimi özellikle başak ve samanda artış göstermiştir. 30 ton ha⁻¹ oranında uygulanan kuru atık çamur, 66 kg ha⁻¹ oranında

uygulanan mineral azotun verimi kadar etkilidir. Sonuçların önerisi, atık çamur uygulanması, yarı kurak koşullar altındaki makarna buğdayının veriminin artması, stabilize olması ve atıkların bertaraf edilmesi için kullanılabilir şeklinde olmuştur.

Karami vd. (2009) tarafından yapılan 4 yıllık çalışmanın amacı, atık çamurun, toprak ve buğday (*Triticum aestivum*) içindeki kurşun birikimi (Pb), Kadmiyum (Cd), çinko (Zn) ve bakır (Cu) üzerinde tek ve tekrarlanarak uygulanmasının etkilerine karar vermektir. Atık çamurun 100 Mg ha⁻¹ (tüm metaller için) ve 50 Mg ha⁻¹ (bakır için) oranlarındaki tek uygulaması, DTPA ile alınabilir metal konsantrasyonlarını 4 sene sonra önemli miktarda arttırmıştır. DTPA ile alınabilir kurşun, çinko ve bakır, toprağın toplam konsantrasyonlarıyla yakından ilişkilidir. Topraktaki DTPA ile alınabilir metal konsantrasyonları ile sapların metal alımı arasındaki ilişkisi Pb, Cd ve Cu için neredeyse doğrusal olmuş ancak Cd ve Zn için ikinci dereceden denklem ile daha iyi tanımlanmıştır.

Yalçın vd. (2009), Atık Su Arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurunun buğday verimine, topraktaki ve bitkideki potansiyel toksik element kapsamına etkisini incelemek amacı ile yürütülen bu çalışmada yedi konulu üç tekerrürlü ve çakılı deneme yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan arıtma çamuru, Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'nden temin edilmiştir. Denemede kontrol, optimum gübre, 1000 kg/da arıtma çamuru, 2000 kg /da arıtma çamuru, 3000 kg/da arıtma çamuru, 4000 kg/da arıtma çamuru ve 5000 kg/da arıtma çamuru kullanılmıştır. Araştırmada dekara 15-16 kg *Bezostaya 1* buğday çeşidi tohum kullanılmıştır. Fosforlu gübre kaynağı olarak DAP ve azotlu gübre kaynağı olarak Amonyum nitrat gübreleri kullanılmıştır. Fosforlu gübrenin tamamı ekim öncesi (sadece B konusuna) optimum parsellerine uygulanmıştır. Azotlu gübre ise yine toprak analiz sonuçlarına göre yarısı tohum ekiminden önce tarla yüzeyine verilerek karıştırılmıştır. Azotlu gübrelerin diğer yarısı ise kardeşlenme dönemi başlangıcında el ile serpilerek uygulanmıştır. Denemelerinin her parselinden toprak örnekleri alınmıştır. Alınan toprak örneklerinde potansiyel toksik element analizleri yapılmıştır. Buğday hasadından sonra yine her parselden toprak örnekleri alınarak analiz edilmiştir. Araştırmada, toprakların potansiyel toksik element analizleri yönünden değerlendirildiğinde, kurşun, kadmiyum, krom, bakır ve çinko elementlerinin toprak kirliliği kontrol yöntemliğinde verilen sınır değerler içinde kaldığı

görülmektedir. Ancak topraklardaki nikel miktarı toprak kirliliği yöntemliğinde verilen sınır değerlerin üzerindedir. Atılan atık miktarı ile bunun bir ilgisinin olmadığı ve Türkiye topraklarının oluşturan ana materyalde nikelin bulunması nedeni ile bu değeri yüksek çıktığı söylenebilir. Buğdayın dane verimleri incelendiğinde, optimum gübre uygulanması ile dekara 2, 3 ve 4 ton arıtma çamuru uygulanmalarının istatiki olarak aynı gruba girmiştir. Arıtma çamurunun kirlletici yükü de göz önünde bulundurulduğunda optimum gübre ile istatistiki açıdan aynı grupta yer alması nedeniyle dekara 2 ton arıtma çamuru uygulaması dikkate alınmalıdır. Buğday denesinde yapılan potansiyel toksik element analiz sonuçları Türk gıda kodeksinde verilmiş olan değerler ile karşılaştırılmıştır. Buğday danesindeki Cu miktarı 4.59-7.17, çinko miktarları 23.75-41.95 arasında, kadmiyum miktarı ise 0.11-0.3 arasında, nikel miktarı 1.24-3.85 arasında, krom miktarı 1.48-2.14 kurşun miktarı 1.72-3.33 mgkg⁻¹ arasında değişmektedir. Uygulanan arıtma çamurunun buğday danesinde yapılan potansiyel toksik element kapsamına etkisinin olmadığı görülmüştür. Arıtma çamurunun uygulanan parseller ile uygulanmayan arasında buğday danesindeki kurşun miktarının fazla olması deneme alanının çevre yolunun altında bulunması, organize sanayi bölgesine yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Arıtma çamurunun kullanımında dikkate alınması gereken diğer bir husus ise, özellikle uzun vadeli arıtma çamuru uygulamaları sonrasında, ağır metallerin yaprağı ya da meyvesi yenen tarım ürünlerinde, hububatlarla göre daha fazla ağır metal kaldırmasıdır.

Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla Angın ve Yağanoğlu (2009), 2004 - 2007 yılları arasında Iğdır ilinde Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan anaerobik arıtma çamurunu kullanarak yürüttükleri çalışmada, 2004 yılının Temmuz ayında sadece bir kereye mahsus olarak 0 (Kontrol), 4, 8 ve 12 ton/da düzeylerinde arıtma çamuru uygulaması yapmışlardır. Arıtma çamuru uygulanan arazilerde arpa bitkisi yetiştirilmiş, 2005, 2006 ve 2007 yıllarında toprak örnekleri alınmıştır. Organik madde içeriği yüksek arıtma çamurunun tuzlu-alkali toprağa uygulanması hem fiziksel (kütle ve tane yoğunluğu, agregat kapasitesi ve tarla kapasitesi) hem de kimyasal (pH, kireç ve organik madde içeriği, katyon değişim kapasitesi) toprak özelliklerinde önemli değişikliklere neden olsa da araştırmanın yürütüldüğü yıllara ve seçilen uygulama

düzeylerine bağı olarak farklılıklar göstermiştir. Toprak kütle yoğunluğu, artan arıtma çamuru uygulama düzeyine bağı olarak azalmıştır. Yetersiz düzeyde agregat oluşumuna ve stabilizesine sahip tuzlu-alkali toprağa artan düzeylerde arıtma çamuru uygulaması, agregat stabilitesinde olduğu gibi, permeabilite katsayısı değerlerinde ve tarla kapasitesinde önemli bir artışa neden olmuştur. pH değerlerinde yıllara bağı olarak meydana gelen değişimin, toprağa ilave edilen arıtma çamurunun miktarı ve mineralizasyon süreci ile yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir. Ölçülen bütün fiziksel ve kimyasal parametreler bakımından en yüksek etki 12 ton/da uygulamasından elde edilmiştir fakat toprak ESP'si (Değişebilir Sodyum Yüzdesi) istenen değerlere ulaşmamıştır. Ayrıca arıtma çamuru tüm uygulama düzeylerinde toprak Fe^{+2} , Mn^{+2} , Zn^{+2} ve Cu^{+2} içeriklerinde bitkilerin ihtiyaç duyduğu kritik konsantrasyonlardan daha yüksek düzeylerde artış olmuştur. Elektrik iletkenlik (EC) değerinin ve Na^{+} konsantrasyonunun yüksek olması sebebiyle tuzlu-alkali alanda bitki büyümesi görülmemiş olup her üç yılda da verim alınamamıştır. Yapılan bu çalışma, organik karakterli materyallerin tuzlu-alkali topraklara uygulanmasının ıslah sonrası tercih edilmesi gerektiğini vurgulayarak arıtma çamurlarının toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi ve toprak verimliliğinin sağlanması amacıyla kullanılabilecek alternatif bir kaynak olduğu sonucuna varılmıştır.

İzmir Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi çamurunun İzmir yöresi Typic Xerofluent tipi topraklardaki makro ve mikro besinler ve ağır metal konsantrasyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir (Delibacak vd., 2009). Ayrıca benzer bir çalışmada çamurun Typic Xerofluent tipi toprakların özelliklerine olan etkisi de zamana bağı olarak incelenmiştir (Delibacak vd. 2009b). Her iki çalışmada da sadece 2003 yılının Mayıs ayı olmak üzere bir kez 0 (kontrol), 0,6, 1,3 ve 1,9 ton/da (kuru) arıtma çamuru uygulaması yapmış, bu tarihten sonra arıtma çamuru uygulanmamıştır. Etkiyi zamana bağı olarak incelemek amacıyla 2003 - 2005 yılları arasında uygulama alanı takip edilmiştir. Arıtma çamuru uygulanan arazilerde test bitkisi olarak birinci ürün yarfıstığı, ikinci ürün taze yem bitkisi olarak arpa ve fiğ karışımı kullanılmıştır. Artan çamur uygulamaları, topraktaki toplam N, Cu, Pb ve Ni konsantrasyonlarını ve alınabilir P, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Mn konsantrasyonlarını önemli ölçüde artırsa da yapılan bütün örneklemelerde elde edilen sonuçlar sınır değerlerin altında kalmıştır. Çalışma

sonucunda Typic Xerofluvent tipi topraklarda besin konsantrasyonunu artırmak için 2 yılda bir 1,9 ton/da kuru arıtma çamuru uygulaması yapılması önerilmiştir. Ayrıca arıtma çamurunun toprakta besin kaynağı olarak kullanımının çevre açısından bir risk oluşturmadığı aksine bölgedeki çamur bertarafı problemine bir çözüm olabileceği vurgulanmıştır (Delibacak vd. 2009a). Çalışmanın ikinci kısmından elde edilen verilere göre ise artan arıtma çamuru uygulaması toprağın toplam tuz, organik madde, toplam boşluk, mikro ve makro boşluk, tarla kapasitesi, solma noktası, yararlı su, strüktür stabilite indeksi ve agregasyon yüzdesi değerlerini önemli ölçüde artırmış, toprağın özgül ağırlık, hacim ağırlık ve bağlanmamış mil+kil değerleri ise azaltmıştır. Çalışma sonucunda düşük organik madde içeriği olan Typic Xerofluvent tipi topraklarda organik madde konsantrasyonunu artırmak için 2 yılda bir 1,9 ton/da arıtma çamuru uygulaması yapılması önerilmiştir

Ongun vd. (2010), arıtma çamuru uygulamasının toprak ve tatlı mısırın ağır metal konsantrasyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla 2004 yılında İzmir ilinde İzmir Büyükşehir Belediyesi Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan çamurla yürüttükleri çalışmada tek uygulama olarak 0 (kontrol), 1,2, 2,5 ve 3,7 ton/da düzeylerinde arıtma çamuru uygulaması yapmış, bu tarihten sonra arıtma çamuru uygulaması yapmamışlardır. Test bitkisi olan tatlı mısır çamur uygulamasının ardından iki kez (ilkbahar ve sonbahar) yetiştirilmiştir. Çalışmada, arıtma çamurunun toprağın çeşitli derinliklerindeki, bitkinin farklı bölümlerindeki ağır metal konsantrasyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, topraktaki ağır metal konsantrasyonlarının (Ni, Pb, Cd, Co ve Cr) arıtma çamuru uygulaması ile birlikte istatistiksel olarak önemli bir değişim göstermediği tespit edilmiştir. Öte yandan tatlı mısırın ağır metal konsantrasyonunun arıtma çamuru miktarına bağlı olarak artış gösterdiği, en az ağır metal birikiminin yiyecek olarak kullanılan danelerde en fazla birikimin ise yapraklarda olduğu tespit edilmiştir. Arıtma çamuru uygulaması, tatlı mısır verimini kontrol grubuna göre % 22 - 51 oranında artırmıştır. 3,7 ton/da uygulama yapılan toprakta en yüksek organik madde miktarı elde edilmiş, toprak pH'si az miktarda azalmıştır. Bu çalışmada tatlı mısır danelerinin arıtma çamuruna temas etmemesi ve en az ağır metal birikiminin bu danelerde oluşması avantaj olarak belirtilmiştir. Sonuç olarak da arıtma çamurunun tatlı mısır yetiştirilen tarım arazilerinde kullanılma imkanı olduğu tespit edilmiştir.

Keskin vd. (2010), atıksu arıtma çamuru ve nitrojen gübresi uygulamasının toprakta ağır metal birikimi, buğdaygil yem bitkisi olan kılçıksız bromda (*Bromus inermis* Leyss) gelişim, besin ve ağır metal konsantrasyonu üzerine olan etkisini incelemek amacıyla 2004 - 2006 yılları arasında Van ilinde yürüttükleri çalışmada bir kereye mahsus 0 (kontrol), 0,7, 1,4 ve 2,1 ton/da düzeylerinde arıtma çamuru ve 5, 10 ve 15 kg/da düzeylerinde nitrojen gübresi uygulaması yapmışlardır. Hem arıtma çamuru hem de nitrojen gübresi uygulaması ile kılçıksız bromun kuru madde verimi ve N, K, Cu, Zn, Pb, Cr, Cd konsantrasyonları artış göstermiştir. En yüksek kuru madde verimi 2,1 ton/da arıtma çamuru uygulaması ve 15 kg-N/da nitrojen gübresi uygulaması ile elde edilmiştir. 2005 yılında bitki dokuları üzerinde yapılan testlerde P, Cu, Mg, Cr, Fe ve Mn konsantrasyonlarında değişiklik görülmemiş, 2006 yılında çeşitli derinliklerden alınan toprak örneklerinde yalnızca yüzey toprağı (0 - 20 cm) ölçülen elementler açısından çok az değişim gösterirken 20 - 40 ve 40 - 60 cm derinliklerde element konsantrasyonları açısından farklılık tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, metallerin toprağın üst tabakasından alt tabakalara geçiş yapmadığı sonucuna varılmıştır. Kontrol grubuna göre arıtma çamuru uygulamasının toprağın DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Zn, Cu, Pb ve Cd konsantrasyonlarını artırdığı belirtilmiştir.

Lakhdar vd. (2010), biyolojik katıların uygunsuz kullanımının agrosistem veriminin üzerine ters etkisi olabileceğinden yola çıkarak sera denemesi yürütmüşlerdir. Çalışmada sera denemesindeki atık çamur ve atık çamurun farklı dozlarının (0, 40, 100, 200 ve 300 t ha⁻¹) buğday bitkisi (*Triticum durum*) üzerine etkisi araştırılmıştır. Bitkinin büyümesi, ağır metal alımı ve antioksidan aktivitesi dikkate alınmıştır. Deneylerin uygulandığı bitkilerin biyokütle verimi, 40 ve 100 t ha⁻¹ oranında atık çamur kompostu uygulanan topraklarda (+48% ve +78% kontrole göre, sırasıyla), önemli miktarda artmıştır. Aynı miktarda atık çamur uygulanan topraklarda bu artış sadece %18 oranında olmuştur. Her iki denemenin de (atık çamur ve kompost) yüksek dozlardaki uygulamalarında bitki gelişimi önemli miktarda kısıtlanmıştır ve ağır metallerin (Ni⁺², Pb⁺², Cu⁺² ve Zn⁺²) konsantrasyonları özellikle yapraklarda önemli miktarda birikim göstermiştir.

Balan vd. (2010), yaptıkları tarla denemesinde, topraktan bitkiye ağır metallerin birikimi ve aktarımını araştırmışlardır. Bu araştırma Romanya'nın kuzey doğu bölgesindeki Tarım Bilimleri ve Veterinerlik Üniversitesi'nin Ezăreni deney çiftliklerinde, 2007-2009 yılları arasında buğday ve kolzalarla (*Brasica napus* – *Triticum aestivum*) gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmanın amaçlarından biri, atık çamurların daha ucuz organik gübre olarak uygulanmasının toprak ve bitki atıklarının ağır metallerle birlikte riskini incelemektir. Bu çalışmada, gübrelemenin etkisini belirlemek için, iki doz atık çamur (20 t/ha ve 30 t/ha) uygulanmıştır. Sonuçlara göre gübreleme seviyesinin artmasıyla kadmiyum konsantrasyonu da yükselmiştir. İkinci yıl, 30 ton ha⁻¹ oranında atık çamurun toprağa uygulanması, kadmiyum konsantrasyonunun, buğday bitkisi için güvenli olan miktarı geçmesinde belirleyici etken olmuştur.

McGrath vd. (2011), bu çalışmada, toprağın mikrobiyal aktivitesi ve uzun vadeli toprak verimi üzerine çinko, bakır ve kadmiyum etkilerini incelemek için tarla denemesi yapmışlardır. Bu araştırma, 1999-2005 yılları arasında, İngiltere'deki 3 farklı bölgeden alınan 3 farklı çinko kaynağının toprağa eklenmesini ve ekmeklik buğday tohumundaki (*Triticum aestivum* L.) Zn konsantrasyonunun ölçülmesini incelenmişlerdir. Sonuçlara göre 2 ila 8 yıl atık çamur kullandıktan sonra, Zn miktarı tohumlarda artış göstermektedir.

Jamil vd. 2004 tarafından kireçli topraklardaki buğday verimine (*Triticum aestivum* L.) farklı dozlarda uygulanan atık çamurun etkisini araştırmak için 2001-2002 yılları arasında bir sera denemesi gerçekleştirilmiştir. Atık çamur sırasıyla 0, 10, 20, 40, 60, 80 ve 100 t ha⁻¹ ve NPK'nın bazal dozları 120, 90 ve 60 kg ha⁻¹ oranlarında uygulanmıştır. Sonuçlara göre, buğday verimi kontrol deneyine kıyasla, atık çamur dozların yükselmesiyle birlikte önemli miktarda artış göstermiştir. Ancak, maksimum başak uzunluğu (12.20 cm), verimli bitki filizlerinin sayısı (5.25), başak tohumlarının sayısı (44.75) ve bitki tohumlarının verimi (7.57 g), atık çamurun 40 t ha⁻¹ oranında uygulandığı topraklarda elde edilmiştir. 1000 tane tohum ağırlığının maksimum değeri (45.78 g), 60 t ha⁻¹ oranında atık çamur uygulanan topraklarda görülmektedir. Bitki uzunluğu (88.90 cm), filizlenmiş bitki sayısı (6.00) ve saman miktarı (15.04 g), 80 t ha⁻¹ oranında atık çamur uygulanan topraklarda önemli miktarda artmıştır. Yüksek miktarda

organik madde, NPK ve mikro besinler içermesinden dolayı, atık çamur uygulamasının buğday bitkisi üzerine olumlu etkileri olduğu sonucuna varılmıştır ve kireçli topraklarda 40 t ha⁻¹ oranında uygulanması buğday veriminin artırılması için tavsiye edilmiştir.

Zoubi vd. 2008, tarım topraklarına uygulanan atık çamurun, topraktaki ve bitkideki ağır metal birikimi ve bitkiler için belirli besinlerin durumu ve buğday, mısır ve burçak bitkilerinin verimi üzerine etkilerini araştırmak için, bir dizi tarla denemesi kurmuşlardır. Bu denemeler 4 adet uygulamayı içermektedir (kontrol, MAAR tarafından tavsiye edilmiş miktarda inorganik gübre - atık çamur, katkı maddesi olmayan, MAAR tarafından tavsiye edilen azot miktarına sahip ve bunun iki katı). Bunlar dört tekerrürlü olarak, 2004-2005 yıllarında Aleppo'daki Kamari Araştırma Merkezi'nde yürütülmüştür. Uygulanan atık çamur tanımlanmış ve toprak işlenmeden önce analiz edilmiştir. Hasattan sonra, topraktaki, bazı besinlere (toplam azot, N, P, marka besinler) ek olarak bitkideki ve organik maddelerdeki ağır metaller (Cd, Pb, Ni ve Cr) hesaplanmıştır. Kontrol deneyine göre, atık çamur uygulanan topraklardaki ve bitkilerdeki bazı ağır metallerin miktarında önemli artış gözlenmiştir. Atık çamur gübresi kullanılan topraklarda, kontrol topraklarına göre önemli miktarda organik madde artışı gözlemlenmiştir. Uygulanan atık çamur miktarının artırılmasıyla beraber, kullanılabilir fosfor miktarı da önemli miktarda artmıştır. Ancak toplam azot miktarında ve makro besinlerde önemli bir fark görülmemiştir. Ayrıca, mineral gübre uygulanan (2.93 ton ha) topraklara kıyasla, atık çamur gübresi kullanılan topraklarda da buğday veriminde (2.66 ve 2.86 ton ha) önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Mısır veriminde ise atık çamur gübresi uygulanan denemelerde, kontrol denemelerine (3.88 ton ha) kıyasla önemli bir artış görülmüştür ve en yüksek verim (6.34 kg ha) 2 kat atık çamur gübresi uygulamasında elde edilmiştir. Burçak verimi de atık çamur uygulanan topraklarda, kontrole (11.41 ton ha) göre daha yüksek miktarda olmuştur ve yine en yüksek verim(12.97 ton ha) 2 kat atık çamur uygulanan topraklarda görülmüştür. Bu araştırmanın sonucuna göre, toprağa atık çamur uygulanması besin maddeleri, organik madde ve mikro elementlerin kaynağı olmasından dolayı ürün verimini artırmaktadır. Deney sırasında toprağa ağır metal eklenmesinin ürün ve toprak konsantrasyonu üzerine çok küçük etkisi olmuştur.

Day vd. (1989), Arizona Üniversitesi'nde yürüttükleri sera denemesinde, yüksek dozlarda atık çamurun uygulanmasının, buğday ve saman bitkilerinin verimi, ağır metal miktarları ve bitkisel büyümeleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bitkisel büyüme, tahıl ve saman verimliliği açısından hem önerilen inorganik azot düzeyinde (112 kg/ha) olan gübrelenmiş buğdayda hem de atık çamurun sağladığı uygun azota eşdeğer miktardaki bitkide benzerlik göstermektedir. Atık çamur yüklenme oranları önerilen bitkiden 3 kat fazla olmuştur ve uygun azot seviyesi olgunluğu ertelemiş, fide aşamasındaki buğdayın azalmasına sebep olmuştur. Ancak tahıl ve saman verimleri, tüm atık çamur yükleme oranlarında benzer çıkmıştır. Buğday tahılındaki ve samandaki ve her hasattan sonra topraktaki kadmiyum, bakır, kurşun, nikel ve çinkonun konsantrasyonları az ve tüm gübre uygulamalarında benzer olmuştur.

Tambaret vd. 2008'e göre, yüksek ölçeklerde ve nispeten daha düşük ölçeklerde atık çamur kullanımı, kentsel atıkların idareli kullanımına katkıda bulunabilmektedir. İlginçtir ki tarım alanında bu kullanım görüldüğünden beri ürün verimliliği artmıştır. Amacı yağmurla beslenen tahıl ürünlerine atık çamur uygulamasıyla cevap vermek olan bu araştırmanın sonuçlarına göre, tane veriminde (özellikle başak) ve saman veriminde artış görülmektedir. 30 t/ha⁻¹ oranındaki kuru atık çamurun etkisi, 66 kg/ha⁻¹ mineral azot kullanımıyla eşdeğerdir.

Gondek vd. (2011), bu çalışmada, bahar buğdayı biyokütlesinde, toprakta ve toprak akıntılarında, kentsel atık çamur ve kentsel atıkların kompostunun uygulamasından sonra mangan miktarını belirlemişlerdir. Bu araştırma, alüvyonlu tınlı toprakların tane boyu bileşimleriyle birlikte toprak malzemeleri üzerine 3 yıllık bir sera denemesi olarak yürütülmüştür. Atık çamur, kentsel mekanik ve biyolojik uygulamalarından yola çıkılarak stabilize edilmiştir. 3 yıllık araştırma boyunca, sadece kentsel atık çamur uygulanmış kireçli ve kireçli olmayan topraklarda, buğday tohum biyokütlesi miktarı, mineral tuz, çiftlik gübresi ve kompostlanmış bitki kalıntısı uygulanan topraklara göre daha çok artış göstermiştir. Atık çamur, çiftlik gübresi ve kompost uygulaması buğday tohumu, saman ve köklerdeki mangan konsantrasyonunu önemli miktarda değiştirmemiştir. Kireçli topraklar, buğdayın mangan miktarında iyi etki göstermiştir. Kireçsiz topraklarda ise değişken mangan miktarı gübrelemeden bağımsız olarak önemli

miktarda yüksek çıkmıştır. Her iki kireçli ve kireçsiz toprak denemelerinde de, en yüksek değişken mangan miktarı, mineral tuz uygulanan topraklarda tespit edilmiştir. Gübrelemenin uygulandığı denemelerin içinde, toprağın akıntılarındaki en yüksek mangan miktarı (her iki deneme için), bitkisel atık kompostu uygulamasında görülmüştür. Kirecin, toprağın drenaj suyundaki mangan konsantrasyonunun azalmasında çok önemli etkisi vardır.

Gondek (2012)'e göre tahıllardaki mineral bileşimlerin hem eksik ve hem de fazla olması, tahılların biyolojik değerlerini olumsuz etkileyip, sonra da hayvanların ve insanların metabolik süreçlerine aykırı düşen bir durum ortaya çıkarabilir. Biyokütlede istenmeyen bileşenlerinin birikim potansiyeli dikkate alınmalıdır. Çünkü bu bileşenler büyük miktarda atık malzemesi oluşturabilir. Bu yüzden, hem biyokütlede üretilen hem de kimyasal bileşimlerinden kaynaklanan, atık bazlı gübrelerin etkilerini belirlemek bir gerekliliktir. Bu araştırma, çiftlik gübresi, kentsel atık çamur ve geri dönüşümlü maddelerin kompostunun, bahar buğdayının mineral bileşimine ve verimine etkisini belirlemek için yapılmıştır. Bu tarla denemesi 3 yıl boyunca yürütülmüştür. Buğday tohumundaki azot Kjeldahl metodu kullanılarak, fosfor kolorimetri kullanılarak, sülfür, bakır, mangan ve çinko ICP-AES metodu kullanılarak ve potasyum, magnezyum ve sodyum ise alev fotogrametri kullanılarak belirlenmiştir. Birinci yılın sonunda, organik gübrelerin oluşum verimine uyarıcı etkisi, mineral gübrelerle göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Organik gübre uygulanan bitkilerden elde edilen azot, fosfor ve potasyumun alınımının engellenmesine rağmen, bu elementlerin buğday tohumundaki eksikliği, bu bileşimlerin dozunu dengelemesiyle önlenebilir. Toprağa gübreyle birlikte farklı miktarlarda magnezyum, sodyum ve sülfür uygulanmasına rağmen bu elementlerin tohumdaki konsantrasyonları, birinci senenin sonunda, önemli şekilde sabit kalmıştır. Buğday tohumundaki bakır ve mangan konsantrasyonu yetersizdir. Bu durum tahıl yem değerlerinin ve dolaylı olarak bitkilerin veriminin düşmesine sebep olmuştur.

Ailincal vd. (2010), tarafından 2003-2009 yılları arasında Podullooai Tarım Araştırma Merkezinde (Laşi ilçesinde) yürütülen araştırmalar, verim kalitesi ile miktarı ve toprak zirai özellikleri üzerinde farklı miktarlarda atık çamur, bitki kalıntıları ve gübre uygulamasının etkilerini araırmayı amaçlamıştır. Denemeler 5 senelik ekim nöbeti (soya, buğday, mısır, ayçiçeği, buğday) ile kurulmuştur. Atık çamur 20,40 ve 60 ton ha⁻¹

oranlarında farklı mineral gübre oranlarıyla, büyüyen bitkiye göre farklılaştırılarak, 2 senede bir atık çamura uygulanmıştır. Buğdayda *Gabriela Variety*, mısırdan ise *Oana Hibrid* kullanılmıştır. 2003-2009 sırasında, 60 t ha⁻¹ oranındaki atık çamur uygulaması ile elde edilen ortalama verim artışları, kışlık buğdayda 1877kg ha⁻¹ (%93) ve mısırdan 2102 kg ha⁻¹ (%57) idi. 60 t ha⁻¹ oranında atık çamur uygulamasından 7 sene sonra, toprağın pH'sı 0.4 birim artış gösterirken, topraktan fosfor ve potasyum içeriği 39 ve 115 mg/kg kadar artmıştır. Her iki senede bir 40 ve 60 t ha⁻¹ oranında uygulanan, Laşi Su Arıtma İstasyonu'ndan alınan atık çamur, toprağın organik karbon miktarını sırasıyla 3.4 g/kg (20.5%) ve 4.7 g /kg (28.3%) oranlarında artırmıştır. 6 t ha⁻¹ DM oranında uygulanan buğday ve mısır artıkları, toprağın organik karbonunda, mineral gübreleme ile karşılaştırıldığında 1.4-1.7 g/kg toprak (8.2-9.9%) oranında artmıştır.

Khan (2011)'e göre, organik atıkların ve katıların organik gübre olarak kullanılması, daha iyi ürün ve yem verimliliği açısından çevre dostu ve iyi seçeneklerden birisidir. Araştırmacı yaptığı çalışmada, atık çamur (40 t ha⁻¹), sıkıştırılmış çamur (20 t ha⁻¹) ve kombi külü (50 t ha⁻¹) seçilen dozlarda, buğdayın tarla ve sera deneylerine uygulamıştır. Tahıl ve saman verimi, atıkların kullanıldığı topraklarda, kontrole göre artış göstermiştir ancak en yüksek verim atık çamur kullanan topraklarda kaydedilmiştir. Diğer tüm verim parametreleri de aynı şekilde kaydedilmiştir. Toprakların hasattan sonraki analiz sonuçlarına göre, 40 t ha⁻¹ oranında atık çamur, 20 t ha⁻¹ oranında sıkıştırılmış çamur ve 50 t ha⁻¹ oranında küspe külü uygulamasının, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin çoğunun üzerinde pozitif etkisi vardır. Atık çamur, sıkıştırılmış çamur ve küspe külü dozlarının uygulanmasından sonra kuru yığın yoğunluğu sırasıyla 1.28, 1.32 ve 1.30 gm cm⁻³ oranlarına düşmüştür. Bunun sonucunda da toprağın toplam gözeneklilik durumu %51.00'dan %52.20'ye yükselmiştir. Dokusal sınıfta bir değişiklik olmamıştır. Seçilen atık çamur ve sıkıştırılmış çamur seviyesi toprağın pH seviyesini hafifçe azaltmıştır. Bu uygulamanın olduğu topraklarda elektriksel iletkenlik 0.38 dSm⁻¹ 'den 1.32 dSm⁻¹'e yükselmiştir. En yüksek artış (1.32 dSm⁻¹), 50 ton ha⁻¹ oranında uygulanan küspe külü denemesinde, en düşüğü ise (0.92 dS m⁻¹) sıkıştırılmış çamur uygulamasında gözlemlenmiştir. NPK, Zn, Cu, Fe ve Mn gibi kayda değer derecede yüksek makro ve mikro besin içeriğine sahip elementler de atık çamur, sıkıştırılmış çamur ve küspe külü uygulanan topraklarda bulunmuştur. Toprağın organik madde

miktarı da, atık çamur uygulamalarında 8200 mg kg⁻¹'den 9540 mg kg⁻¹'e kadar artış göstermiştir ki bu artış diğer uygulamalara kıyasla en yüksek miktardır. Azot miktarı, atık çamur uygulamasında en yüksektir (1190 mg kg⁻¹), fosfor ise en yüksek miktarına (290 mg kg⁻¹) sıkıştırılmış çamur uygulamasında ulaşmıştır. Demir (13 mg kg⁻¹), Mangan (22 mg kg⁻¹) ve çinko (113 mg kg⁻¹) miktarlarının maksimum değeri ise küspe külü uygulanan topraklarda saptanmıştır. Bu sayede, organik atıkların tarım topraklarında uygulanmasının, besin döngüsü ve atık çamurların bertarafı açısından sürdürülebilir ve ekonomik olduğu kanıtlanmıştır. Buna rağmen, toksik metaller ve patojenler gibi bazı risklerin de görülebileceği araştırmacı tarafından belirtilmiştir.

Atık çamurları (biyolojik katılar), besin maddeleri -azot ve fosfor da dâhil olmak üzere- ve organik maddelerin faydalı bir kaynağıdır. Hem çevresel hem de kaynak kullanımı konularında, azot ve fosforun geri dönüşümünü geliştirme zorunluluğu sürekli artmaktadır. Ayrıca, atık çamurlar, kaynaklarına bağlı olarak, değişen konsantrasyonlarda metaller içerirler -genel olarak çinko-. Bu da, insanların sağlığı açısından, elyaf tahıl tanelerindeki çinko durumunun da geliştirmesini gerektirmektedir (Kutman vd. 2011).

Yaman ve Olhan (2011), bu araştırmada, arıtma çamuru kullanılarak ve kullanılmadan yapılan buğday üretiminin ekonomik sonuçlarının belirlenmesini amaçlamışlardır. Araştırma kapsamında, çamur kullanımının verim, toplam masraflar, değişken masraflar, brüt gelir, birim maliyetler, kimyasal gübre kullanım miktarı gibi parametreler üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Araştırma verileri Ankara'nın 3 farklı ilçesinden seçilen arıtma çamuru kullanan 39 ve kullanmayan 42 işletmeden anket yoluyla toplanmıştır. Buğday üretiminde çamur kullanımını sonuçlarını analiz etmek için Bağımsız Örneklem t testi kullanılmıştır. Araştırma sonuçları, çamur kullanımının buğday verimini %17.63, brüt kârı %64.90 artırdığını, üretim maliyetini %26.01 azalttığı göstermiştir. Çamur kullanılarak yapılan tarımsal üretimde çamur kullanılmayan parsellere göre net gelir ve kullanılan kimyasal gübre miktarı (P< 0.01), dekara verim ve birim maliyetlerdeki (P<0.05) farklılıklar önemli bulunmuştur. Toplam masraf, değişken masraf ve brüt gelir açısından ise önemli bir ilişki bulunmamıştır.

Gondek vd. (2011), tarafından yapılan araştırmanın amacı, toprakta ve toprakların atıklarını kentsel atık çamurları ve kentsel atıkların komposto gübre olarak kullanımından sonra yazlık buğday biyokütlesinde mangan miktarını incelemişlerdir. Bu çalışma sera denemesi şeklinde orta tınlı siltli toprakta, 3 yıl boyunca sürmüş, atık çamur stabilite şeklinde ve bitki ve diğer bakterilerle ayrışabilen atıklardan üretilmiştir. Üç yıl içinde, kireçli ve kireçli olmayan topraklarda mineral tuz uygulaması, çiftlik gübresi uygulaması, atık çamur ve bitki artıklarının kompostlu uygulamasına göre, sadece kentsel atık çamuruyla gübrelenen parsellerde, buğday tane sap ve köklerinde görünür biçimde daha iyi etki sağlanmıştır. Çiftlik gübresi ve atık çamur ile kompost ile yapılan gübreleme bitki tanesi sapı ve kökünde herhangi kayda değer bir artış sağlamamıştır. Toprak kireçlemesi buğdayın manganaz içeriğinde daha iyi bir etkiye sebep olmuştur. Devingen manganaz formları kireçlenmemiş toprağa göre eklenen gübreyle bağlı olmaksızın oldukça fazladır. Her iki deney serilerinde (0 Ca ve +Ca) en fazla devingen manganaz formları mineral uygulamasındaki toprakta bulunmuştur. Uygulamalar arasında toprak atık suyundaki en yüksek miktarda manganaz (her iki deneysel seriden de) bitki artıklarından kompost oluşturulduktan sonra hesaplanmıştır. Araştırmacılara göre, kireçleme topraktan süzülen sudaki mangan miktarını azaltmada göz ardı edilemez bir etkidir.

Yalçın vd. (2011), Eskişehir ilinde Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi çamurunun buğday, şekerpancarı ve mısır münavebe sisteminde verime ve toprağın bazı kimyasal özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla 2006 - 2008 yıllarında üç münavebe sistemi kullanarak optimum gübre, 0 (kontrol), 1, 2, 3, 4 ve 5 ton/da arıtma çamuru uygulaması yapmışlardır. Münavebeler, ilk münavebe buğday + mısır + şekerpancarı, ikinci münavebe şeker pancarı + buğday + mısır, üçüncü münavebe mısır + şeker pancarı + buğday olarak gerçekleştirilmiştir. Denemelerinin her parselden alınan toprak örneklerinin potansiyel toksik element (Cu, Zn, Ni, Cd, Cr, Pb) analizleri yapılmıştır. Ekilen bitkilerin hasadından sonra, her parselden tekrar toprak örnekleri alınarak analiz edilmiştir. Çamur miktarındaki artışın topraktaki potansiyel toksik element miktarını artırdığı fakat topraktaki potansiyel toksik element miktarının toprak kirliliği kontrol yönetmeliğinde verilen sınır değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada, münavebede yer alan bitkilerin verimleri incelenmiş, optimum

gübre uygulaması ile dekara 2, 3 ve 4 ton arıtma çamuru uygulamalarının istatistiki olarak aynı gruba girdiği (benzer etki göstererek verimi artırdığı) belirlenmiştir. Çalışma sonucunda arıtma çamurunun kirletici yükü de göz önünde bulundurularak optimum gübre ile istatistiki açıdan aynı grupta yer alması nedeniyle üç münavebe sisteminde de 2 ton/da arıtma çamuru uygulaması önerilmiştir. Ayrıca arıtma çamurunun tarım alanlarında kullanılmasının toprağın organik madde ihtiyacını karşılamak açısından önemli olmasına karşın bu uygulamanın çok sıkı denetimler altında yapılması gerektiği, toprağın tamponlama özelliğinin bir limitinin olduğunun unutulmaması gerektiği vurgulanmıştır.

Lassoued vd. (2012), yürüttükleri denemede, kentsel ve endüstriyel atık su arıtma tesislerinden alınan çamurlardaki ağır metallerin etkisi test edilip, onların bitki gelişimi ve biyolojik birikimi üzerindeki etkileri anlamaya çalışılmıştır. Bu deneme için 2 test bitkisi: buğday ve kolza tohumu seçildi. Toprakta bulunan ortalama ağır metal seviyesi sırasıyla Fe>>Mn>Zn>Pb>Cu>Ni>Co>Cd'dır. Atık çamurda bulunan ağır metal miktarı çok yüksektir ve bu tip kullanım için izin verilen Avrupa limitlerini aşmıştır ama NT106 Tunus standardında kalmıştır. Çamur katkısının etkileri, bütün bitkinin ağırlık kazancındaki önemli miktardaki artış ile kendini göstermiştir. Bu, bitkinin anten kısmı ile kök kısmı arasındaki oranda bir değişme olması ile sonuçlandı. Bu oran, getirilen topraktaki çamur dozunun artması ile artmaya eğilimlidir. Bu iki bitkinin kökü, zemin tedavisiz kontrolde bile Zn miktarında artış olduğunu göstermiştir. Nikel, kurşun ve çinko miktarı, bakır ve kobalt miktarına göre, kolza köklerinde buğday bitkisine göre daha yüksek çıkmıştır.

Gondek vd. (2012), bu çalışmada, kentsel atık çamurun uygulanmasının, bahar buğdayındaki (*triticum aestivum* L.) mikro elementlerin ve dışsal aminoasitlerin içeriği üzerine etkisini araştırmışlardır. Denemeler, tarla denemesi şeklinde 2005-2007 yılları arasında, alüvyonlu tınlı topraklarda (*Stagnic Gleysol*) yürütülmüştür. Bu denemede, 5 gübre uygulaması 4'er tekrarla yapılmıştır. Bu uygulamalar, kontrol (gübre uygulanmamış), mineral madde, domuz gübresi, kentsel atık çamurlar (mekaniksel-biyolojik) ve kentsel atık çamur (biyolojik) şeklindedir. Birinci senenin sonunda elde edilen sonuçlara göre, atık çamur uygulanan bitkilerin azot elementine ulaşmasında

yaşadıkları zorluk ürün verimi ve kalitesi ile belirlenebilir. Uygulanan atık çamurun dozları, analiz edilen mikro elementler ve dışsal aminoasitlerin miktarını önemli şekilde etkilememiştir. Uygulamalardan bağımsız olarak, bahar buğdayının yem değerini düşüren mikro elementler bakır ve mangandır, protein konsantrasyonu ise lizin içeriği ile belirlenmektedir.

Li vd. (2012)'e göre bakır, çinko ve kadmiyum gibi, toksik iz elementleri bazen atık çamurun arazide kullanmasını kısıtlamaktadır. Bu araştırmada, sera ve tarla denemeleri, bu elementlerin bitki tarafından alınması hususunu 2 yıl süreyle, atık çamur uygulanan kireçli topraklarda incelenmiştir. Sera denemesi sonuçlarına göre, bitkiye uygun olan atık çamurun çinko ve bakırı, suda çözülebilir metallerin tuzlarının sırasıyla 53.4-80.9% ve 54.8-91.1% oranlarına eşdeğerdir. Tarla denemesi sonuçlarına göre, toprağın çinko, bakır ve kadmiyum miktarı, atık çamur uygulamasıyla doğrusal bir artış göstermektedir. Atık çamur uygulamasının artmasıyla, buğday tohumlarındaki çinko ve bakır miktarı başlangıçta artmış sonra düşüşe geçmiştir. Bunun yanında mısır tohumlarındaki kadmiyum miktarı ise önemli değişim göstermemiştir. Buğday ve mısır tohumlarındaki metallerin biyolojik konsantrasyon faktörleri $Zn > Cu > Cd$ sıralamasında, samanda ise $Cd > Cu > Zn$ sıralamasında olduğu bulunmuştur. Bunun yanı sıra buğday tohumlarının, mısır tohumlarından daha fazla metal biriktirdiği de bulunmuştur. Sonuçlar kireçli topraklara, atık çamur uygulamasındaki kritik yüklemeleri geliştirme konusunda oldukça faydalı olacaktır.

Özyazıcı vd. (2012), arıtma çamuru uygulamalarının toprağın bazı mikro element kapsamı üzerine etkilerini incelemek amacıyla 2002 - 2005 yılları arasında Samsun ilinde Samsun-Bafra Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan çamurla yürüttükleri çalışmada iki kez (her münavebe sisteminden önce), 0 (kontrol), 1, 2, 3, 4 ve 5 ton/da düzeylerinde arıtma çamuru ve optimum kimyasal gübreleme (N + P) uygulaması yapmışlardır. Arıtma çamuru uygulanan arazilerde Bafra Ovası'nda en yaygın şekilde uygulanan "buğday + beyaz baş lahana + domates" münavebe sistemi kullanılmıştır. Çalışma sırasında toprağın bazı mikro element konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla her bir münavebe periyodu sonunda 0 - 20 cm derinlikten toprak örnekleri alınarak incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, artan dozlardaki arıtma çamuru

uygulaması ile toprağın ekstrakte edilebilir Fe, Cu and Zn konsantrasyonlarının önemli ölçüde arttığı, Mn konsantrasyonunda ise herhangi bir değişimin olmadığı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda toprakları genellikle alkalın reaksiyonlu oldukları için, bitkilerde sıkça mikro besin elementi eksiklikleri görülen Bafra Ovası'nda, toprakların kireç bakımından zengin olduğu göz önüne alınarak arıtma çamuru kullanımının uygun olacağı görüşüne varılmıştır.

2.4 Arıtma Çamuru Uygulamalarının Toprağın Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri

Arıtma çamurlarının bitki besin elementlerince zengin olması, bilim adamlarını öncelikle bu atıkların kullanılabilirdiği bitkilerde verim çalışmaları yapmaya yöneltmiştir. Buna daha sonra arıtma çamurlarının topraklarda mikrobiyal sayı ve aktivite ile enzim aktiviteleri üzerine yaptığı etkileri ilgili araştırmalar takip etmiştir. Genellikle bu tür araştırmaların büyük çoğunluğu mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesi ile ilgili çalışmalar olmuştur.

Kunito vd. (2001) tarafından 1978 yılından beri kentsel arıtma çamuru ve kompostu ile ıslah edilen tarım topraklarında Zn ve Cu'nun toprak enzim aktiviteleri (asit fosfataz, alkalın fosfataz, arylsülfataz, selülaz, dehidrogenaz, proteaz, üreaz, β -D Glukozidaz, β -D-fructofuronosidase, invertaz) ve mikrobiyal biyokütle karbonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Arıtma çamurlarının ve kompostların uzun süre uygulanması, topraklarda 140-144 mgkg⁻¹ oranında Cu ve 216-292 mgkg⁻¹ oranında Zn birikimine sebep olmuştur. Mikrobiyal biyokütle karbonunun miktarı arıtma çamuru yada kompost uygulamaları ile artmıştır. Ancak bazı enzim aktiviteleri kontrol topraklara göre daha düşük çıkmıştır.

Schaumberg vd. (1980), anaerobik olarak ayrıştırılmış 2 farklı atık çamur örneğini hafif bünyeli bir toprağa uygulamışlar ve farklı pH değerlerinde atık çamurlarda oluşan biyokimyasal olayların suda çözünabilir fraksiyonlarını incelemişlerdir. Bu araştırma bulgularına göre, atık çamurların mikrobiyal olarak ayrışmasının toprak reaksiyonu ve içerdikleri su düzeylerine bağlı olarak değiştiği ve bu iki parametrenin optimal olduğu koşulda biyokimyasal transferasyonların ancak 10 haftada tamamlanabildiği

belirtlmifltir. Deneme sonunda su doygunluğu ve asit koşulların prosesi olumsuz yönde etkilediği de araştırıcılar tarafından belirtlmifltir.

Arıtma amurlarının tarım alanlarına uygulanmasında bir vejetasyon peryodu boyunca alınabilir hale geçen azot miktarlarının tahmini için azot mineralizasyon aranlarının bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Çamurdaki organik azotun mineralizasyonu ile ilgili alışan Sabeyv (1980), anaerobik olarak çürütülmüş çamurlarda 16 haftalık bir inkübasyon periyodu sonunda azot mineralizasyonunun %4-48 arasında değiştiğini ve organik azotun mineralizasyon potansiyelinin inkübasyon şartlarına ve/veya kullanılan çamur ve toprağın özelliklerine bağlı olarak büyük değişim gösterdiğini saptamıştır.

Frankerberger vd. (1983) 3 farklı tarla nemine sahip toprak örneklerini, ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarını içeren 5 farklı oranda arıtma çamuru ile muamele etmişler ve üreaz aktivitesini düşük uygulama dozlarında (2.2 ve 8.9 mg amurg⁻¹ toprak) belirlemişlerdir. Sonuçlar arıtma çamurunun üreaz aktivitesini genellikle azalttığını, ancak yüksek uygulama dozlarında (22.2, 44.4 ve 100 mg amurg⁻¹ toprak) artırdığını göstermiştir. Araştırmacılar enzim aktivitesinin engellenmesini çamurların yüksek organik madde ve besin maddesi içeriğine bağlamışlardır.

Reddy vd. (1987), arıtma çamuru uygulanmış (0, 40, 80 ve 129 t ha⁻¹) rizosfer ve rizosfer dışı topraklarda enzimlerin aktivitesi incelenmiş ve araştırma sonucunda, rizosfer tabakasındaki dehidrogenaz, üreaz ve fosfataz aktivitelerinin rizosfer dışı ve ekim öncesi alınan toprak örneklerindeki enzim aktivitelerinden daha yüksek olduğu tespit etmişlerdir. Arıtma amuru uygulanmamış kontrole oranla dehidrogenaz aktivitesi %9-59 arasında daha az saptanmış ve bu engellemenin arıtma çamurundaki ağır metal (Cu, Zn, Ni, Cd, Fe ve Mn) konsantrasyonları ile ilişkili olduğu bulunmuştur. Ekim ncesi ve rizosfer dışı topraklarda artan çamur konsantrasyonları ile üreaz aktivitesi azalırken, rizosfer topraklarında artmıştır.

Ohya vd. (1988), Zn ve Pb' un farklı düzeyleri ile kirlenmiş 30 toprağında yapılan basit ve çoklu regresyon analizleri sonucu, mikrobiyal bioktlesin eriyebilir Zn+Pb

miktarlarında önemli oranda etkilenmediği saptanırken, CO₂ oluşum (toprak solunumu) ile Zn+Pb konsantrasyonları arasında önemli negatif ilişkiler belirlenmiştir.

Baath (1989)'e göre, ağır metallerin mikroorganizmalar üzerindeki toksik etkileri veya yararışlılığı bazı toprak özelliklerine çok bağlıdır. Bu özellikler pH, inorganik anyon ve katyonlar, kil mineralleri, sulu metal oksitler, organik madde cinsi ve miktarıdır Düşük (4.8-5.8 pH) ve yüksek (6.4-7.0 pH) pH düzeylerine sahip topraklara iki farklı dozda (100 ve 300 m³ ha⁻¹ yıl⁻¹) ağır metal içeren ve içermeyen arıtma çamuru uygulanmış ve yüksek pH'lı topraklarda dehidrogenaz aktivitesi önemli oranda yüksek bulunmuştur

Reddy ve Faza (1989), 0, 40, 80 ve 120 t ha⁻¹ dozlarında arıtma çamuru uyguladıkları topraklarda en yüksek dehidrogenaz aktivitesini (DHG) kontrol örnekte, en düşük aktiviteyi ise 120 t ha⁻¹ arıtma çamuru uygulanan toprakta saptamışlar ve bütün örneklerde kontrol oranla DHG aktivitesinin düşüklüğünü, arıtma çamurundaki ağır metal konsantrasyonlarına bağlamışlardır.

Balzer ve Ahrens (1990), killi-tın bir toprakta biyolojik aktivite üzerine 20 yıldır uygulanan arıtma çamurunun etkisini incelemişlerdir. Araştırmacılar, 2.5 t ha⁻¹ çamur uygulamasının mineral gübre uygulamasına oranla biyolojik aktiviteyi önemli oranda artırdığını fakat 5 t ha⁻¹lik uygulamanın bazı enzim aktiviteleri ve mikrobiyal biokütlede azalışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçlar, uzun süreli ve yüksek miktarlarda arıtma çamuru uygulamalarının toprak mikroflorası üzerinde ters etkiler yapabileceğini ve kirleticilerin birikebileceğini göstermiştir.

Chander ve Brookes (1991), metallerle (Zn, Cu, Ni ve Cd) zenginleştirilmiş arıtma çamurunun 22 yıl önce uygulandığı topraklarda mikrobiyal biyokütle miktarını ölçmüşler ve AB'nin izin verdiği sınır değerlerin altındaki konsantrasyonların mikrobiyal biyokütle üzerinde olumsuz bir etki yaratmadığını fakat sınır değerlerin 2.5 kat üzerinde Cu içeren uygulamaların mikrobiyal biyokütle miktarını %40 oranında azalttığını (kumlu-tın ve killi-tın toprakta) saptamışlardır. Araştırmada ayrıca bu Cu konsantrasyonlarında organik ve toplam azot birikimlerinin kumlu tın toprakta %40, killi-tın toprakta ise % 30 oranında arttığı da belirlenmiştir. Chander ve Brooks (1991),

dehidrogenaz tarafından TTC (trifeniltetrasolyumklorür)'in redüksiyonu sonucu oluşan TPF (trifenil formazan) absorbansının ağır metaller tarafından azaltılıp azaltılmadığını da belirlemişler ve Cu 'ca zengin arıtma çamuru içeren topraklarda TPF'nin önemli oranda azaldığı fakat diğer metal uygulamalarından etkilenmediğini belirlemişlerdir. Araştırmacılar Cu ile kirlenmiş topraklarda dehidrogenaz aktivitesinin önemli oranda azalma nedeninin, TPF ile Cu arasındaki abiyotik reaksiyondan kaynaklandığını ileri sürmüşlerdir.

Garcia vd. (1993), 3 farklı kentsel organik materyal grubunu (taze şehir çöpü, arıtma çamuru ve her ikisinin kompostlaşmış şekli) bazı biyokimyasal özellikler (ATP miktarı ile 5 hidrolaz enzim aktivitesi) açısından incelemişlerdir. En yüksek ATP değerinin arıtma çamurunda ve en düşük ATP değerinin arıtma çamurunda ve kompostta ortaya çıkması bu parametrenin bu tür atıklardaki organik maddenin ayrışmasını izlemek için uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir. Bazı inhibitörlerin varlığından dolayı üreaz aktivitesi katı kentsel atıklarda genellikle farklılık gösterirken, en yüksek üreaz, fosfataz ve β -glukozidaz aktivitesi arıtma çamurunda bulunmuştur. Araştırmada ayrıca tüm enzimatik aktivitelerin kompostlama ile azaldığı tespit edilmiştir. Üç farklı tipteki toprağa arıtma çamuru uygulanmış ve laboratuvar şartları altında β -glukozidaz enzim aktivitesi ölçülmüştür.

Eivazi ve Zakaria, (1993), düşük çamur dozlarında (10 ve 30 mg çamur gr^{-1} toprak) enzim aktivitesinin engellendiği, yüksek çamur dozlarında ise (100 ve 200 mg çamur gr^{-1} toprak) arttığı gözlenmiş ve enzim aktivitesindeki bu artışın yüksek besin maddesi ve organik madde miktarından dolayı mikrobiyal aktivitenin uyarılmasından kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Araştırmacılar humik maddeler ve kil mineralleri ile bağlanmanın ağır metallerin olumsuz etkilerini azaltmada önemli bir rol oynadığını bildirmişlerdir.

Organik atıkların toprağa karıştırılması, topraktaki enzim aktiviteleri üzerinde önemli etkiler yaratabilmektedir. Bu atıklar çeşitli enzimler içerebildikleri gibi topraktaki mikrobiyal aktiviteyi de hızlandırabilmektedirler (Dick ve Tabatabai 1993).

Fliessbach vd. (1994), toprağın mikrobiyal biyokütle karbonu (C_{mic}) ve solunumu, uzun vadeli atık çamur uygulanan topraklarda arazi deneyleri ile belirlemiştir. Genelde, düşük miktar ağır metal içeren atık çamurun uygulanması, mikrobiyal biyokütle üzerine faydalı etkisi olabileceğini belirtmişlerdir. Yüksek miktarda ağır metal içeren topraklar, mikrobiyal biyokütlenin önemli miktarda azalmasına sebep olmuştur. C_{mic} /organik C oranı, düşük miktarda ağır metal içeren atıkların kullanılması ile azalmıştır. Toprağın solunumu ve özellikle birim biy okütlenin solunumu (qCO_2), ağır metallerin artışı ile artmaktadır. Mantarların katkısı ile toprağın solunumu daha da artmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, ağır metallerin mikro flora toprağı üzerine etkisinin sonuçlarını göstermek için, qCO_2 bu etkilerin hassas indikatörü olarak belirlenmiştir.

Obbard vd. (1994) tarafından yapılan çalışmada, ağır metal içermeyen çamurun uygulandığı topraklarda dehidrogenaz kontrole oranla %66 (yüksek pH'da) ve %50 (düşük pH'da) daha yüksek çıkmıştır. Bu araştırmada dehidrogenaz enzim aktivitesinin mikrobiyal biyokütlesi ağır metallerden etkilenme şeklini saptamada hassas bir yöntem olarak kullanılabileceği ileri sürülmüştür.

Rhyner vd. (1995), 16 haftalık bir inkübasyon çalışmasının ardından çamurdaki organik azotun %4 ila %48 oranında mineralize olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Organik azotun, bitkiye yarayışlı inorganik azota mineralize olma oranı, uygulanan çamurun fiziksel ve kimyasal özellikleri yanında, çamurun uygulandığı toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine, sıcaklığa ve toprağın su içeriğine bağlı olarak da değişiklik göstermiştir. Net azot mineralizasyon hızlarının belirlenmesi için yapılan laboratuvar çalışmaları arıtma çamurunun karakteristiklerine bağlı olarak ilk büyüme mevsimi için mineralizasyon hızlarının %0 'dan %58 'e kadar değişebildiğini göstermektedir. (Chae ve Tabatabai, 1986). Genel olarak azot mineralizasyon hızı, çürütülmemiş ham ön çökeltim çamurları ve atık aktif çamurlarda daha yüksek, kompostlaştırılmış ve ısıtılmış işlem görmüş çamurlarda ise daha düşüktür.

Valsecchi vd. (1995), ağır metallerin farklı düzeyleri ile kirlenmiş 16 İtalya toprağında kimyasal özellikler ve biyolojik parametreleri araştırmış ve korelasyon analizleri sonucu metaller ve toprakların organik karbon içerikleri arasında pozitif ilişkiler saptamışlardır.

Ağır metaller ile toprak solunumu ve $\text{CO}_2\text{-C}$ / mikrobiyal biyokütle karbonu oranı arasında ise negatif ilişkiler ortaya çıkmıştır.

Toprakların ağır metaller tarafından etkilenme düzeyini belirlemede toprak mikrobiyal biyokütlesinin yanında, toprak solunumu, karbon ve azot mineralizasyonu, biyolojik azot fiksasyonu ve bazı toprak enzimleri gibi mikrobiyal aktiviteler de kullanılmaktadır. Bu tür parametreleri incelemek suretiyle, doğal ekosisteme ait dengenin kirleticiler tarafından bozulup bozulmadığını tespit etmek mümkün olmamaktadır (Brooks 1995).

Dar (1996), kadmiyum ve atık çamurun üç farklı toprakta mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesi üzerine etkisi 2 ay süreyle $30\pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıkta araştırmıştır. Atık çamur uygulanan topraklardan elde edilen mikrobiyal biokütle sonuçlarına göre % 8–28 ile en yüksek kili tınlı topraklarda ve en az kumlu-tınlı toprakta bulunmuştur. Atık çamur uygulanması toprağın dehidrogenaz, alkaline fosfataz ve argeninin amonifikasyon aktivitelerini sırasıyla % 18–25, 9–23 ve 8–12 oranlarında artırmıştır. $10 \mu\text{g g}^{-1}$ Cd ilavesi bu parametreler arasında önemli bir fark oluşturmadı ancak $50 \mu\text{g g}^{-1}$ Cd ilavesi kumlu tınlı topraklardaki mikrobiyal biokütle ve enzim aktivitesinin tınlı veya kili tınlı topraklara göre daha fazla artmasına sebep olmuştur. Topraklarda Cd adsorpsiyonu % 31-56 oranında olup bu miktar killi tınlı topraklarda kumlu tınlı topraklardan daha fazladır. DTPA ile ekstrakte edilebilen kadmiyum ve mikrobiyal biokütle arasında önemli bir negatif ilişki bulunmaktadır. Toprak mikrobiyal biyokütlesinin değişimi hücrelerin ölmesi ile açıklanır ve dehidrogenaz ve alkaline fosfataz enzimlerinin aktivitesi ile ilişkilidir. Ancak, mikrobiyal biokütle ve argenin-amonifikasyon aktivitesi arasında herhangi bir ilişki bulunmadı. Atık çamur uygulaması kadmiyumun kısıtlayıcı etkisini azalmamıştır.

Lima vd. (1996), yürüttükleri bir sera denemesinde, mikrobiyal populasyonların sayısına ve atık çamur ve koyu kırmızı latosol fosfat gübresi uygulanan domates bitkileri yetiştirmedeki aktivitelerine karar verilmeye çalışıldı. Atık çamur 0, 10, 20, 40, 80 ve 160 t ha^{-1} dozlarında ve fosfat (P_2O_5), 0, 100, 200, 400 ve 800 kg ha^{-1} dozlarında uygulandılar. Bakteriyel populasyon atık çamura ve fosfat uygulanmasına bağlı bir fonksiyon olarak artış gösterdi. Mantar populasyonları, yalnızca fosfat uygulanmasından etkilenmedi fakat atık çamurun uygulanması ile sayıları arttırıldı.

Fosfatın 100-200 kg ha⁻¹ dan yükek dozları ile atık çamurun birleşmesi hem bakteri hem de mantar gelişimini engelledi. Mikrobiyal sayılar ile karar verilen yanıtlar, atık çamurun fosfat ya da ikisinin birleşiminden daha büyük bir etkiye sahip olduğu mikrobiyal biyokütle değerlerinde yansıtıldı. Bu sonuçlar, organik madde açısından fakir topraklardaki mikrobiyal biokütlenin büyümesi için karbon ve enerji kaynağının(burada atık çamur olarak geçiyor) gerekli olduğunu onaylıyor. Dehidrogenaz ve ureaz aktiviteleri mikrobiyal populasyonların sonuçlarını yansıttı. Bunun nedeni atık çamur ve fosfatın etkisidir. Ancak fosfataz için tatmin edici bir sonuç elde edilememiştir. Üreaz aktivitesi atık çamur etkisi sonucu bir doğrusal regresyon denklemiyle ve fosfat etkisi sonucu bir ikinci dereceden regresyon denklemiyle ifade edildi. Araştırılan tüm parametreler bakteri sayılarıyla belirgin bir ilişki gösterdi ama mantar sayılarıyla göstermedi. Sonuç olarak atık çamur ve fosfat bakteriler üzerinde mantarlara göre çok daha etkili oldu.

Knight vd. (1997), atık çamur kullanımının toprağın biyolojik aktivitesini, mikrobiyal biyokütle ve enzim aktivitesini azalttığını belirlemişler diğer taraftan, Sastre ve ark (1996) ve Banerjee ve ark (1997)'na göre atık çamurların toprağa uygulanması toprağın mikrobiyal aktivitesini, toprağın solunumu ve enzim aktivitesini artırır. Barkay ve ark (1985)' a göre de atık çamurların kullanılması toprağın mikrobiyal populasyonunu, aktivitesi ve çeşidini ve onların metallere dayanıklılığını artırır.

Banerjee vd. (1997), atık çamurların kullanımının, bataklık ve meşe ormanlığı topraklarının biyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerindeki etkisini göstermiştir. Topraklara farklı dozlarda (0,50 ve 100 ton ha⁻¹), atık çamur uygulanmış ve çamurun uygulanması topraklarda mikrobiyal biyokütleyi istatistiksel olarak önemli miktarda ($p < 0.05$) yükselttiği belirlenmiştir. Azot içeriğinin biyokütlesi alışılmadık bir mikrobiyal biyokütle oranında (C:N oranı 36:1) düşük çıkmıştır. Biyokütlenin Karbon:Azot oranı düşük olmasına rağmen, çamurun uygulanması, toprakların azot mineralizasyon potansiyelini geliştirmiştir. Ayrıca 3 toprak enziminin potansiyel aktivitesi de (arilsülfataz, asit fosfataz ve alkali fosfataz) bu çalışmada ele alınmıştır. Çamurun uygulanması bir şekilde toprak enzimlerinin aktivitesini artırdı. Buna ilave olarak, istatistiksel açıdan önemli ($P < 0,05$) fakat geçici bir değişim aktivite potansiyelinde görüldü. Toprak topluluğunun fonksiyonel çeşitliliği Biolog TM mikropaklarla

değerlendirildi. En yüksek miktarda çamurun uygulanması ($2 \times 100 \text{ t ha}^{-1}$), toprak topluluğunun fonksiyonel çeşitliliğini önemli miktarda ($P < 0.04$) azalttığı bulundu. Sonuçlara göre, çamurun toprağa uygulanması toprağın mikrobiyal populasyonunun çeşitliliğini azaltmasına rağmen, mikrobiyal biokütlesini ve azotunun mineralizasyon potansiyelini değiştirmemiştir ya da artırmıştır.

Pascual vd. (1998) yaptıkları çalışmada, kurak toprağa farklı dozlarda arıtma çamuru uygulayarak, 360 günlük inkübasyon süresi boyunca toprağın dehidrogenaz, katalaz, üreaz, kasein-hidroliz proteaz, BAA-hidroliz proteaz, alkali fosfataz ve β -glükozid aktivitesinin değişimini incelemişlerdir. İnkübasyon sonunda toprağın enzim aktivitesinin arttığı gözlenmiştir.

Lai vd. (1999), anaerobik sindirimli susuzlaştırılmış atık çamur (alkali kömür külü ile dengelenmiş) uygulanan topraklarda, çamurun etkisini düzeltmek için toprağın enzim aktiviteleri ve besin madde döngüleri üzerine araştırma yapmışlardır. Atık çamur, 0.5, 10, 35 ve 50% W/w kömür külü ile karıştırılmış ve bu karışım 1:1 v/v oranında kumlu toprağa uygulanmıştır. Dehidrogenaz aktivitesi, kömür külünün artmasıyla ve zamanla, azalmaya başlamıştır. En yüksek dehidrogenaz enzim aktivitesi, %5 kül-çamur uygulanan topraklarda tespit edilmiştir. En yüksek üreaz ise genellikle %10 kül-çamur uygulanan topraklarda tespit edilmiştir, üreazın aktivitesi de zamanla azalmaya başlamıştır. En yüksek fosfataz %5 kül-çamur karışımı uygulanan topraklarda görülmüştür ancak zamanla genel bir eğim gösterememiştir. Suda çözülebilir çinko, mangan ve bakır miktarları, uçucu kömür külü eklemesi ile bastırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, %10'luk kül-çamur karışımı eklenmesi, toprağın mikroorganizma aktiviteleri ve N, P besin döngüsü üzerine pozitif etkisi vardır ve kullanılabilir ağır metalleri de toprakta azaltmıştır. Bakır, nikel ve çinko farklı dozlarda (mevcut limitlerin %25'i ve azı) ve bunların atık çamur ile karışımı toprağa eklenmiş ve laboratuvar inkübasyonu koşullarında toprağın mikroorganizmaları üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir. Toprak solunumu haftalar boyunca (1–7) belirli aralıklarla ölçülmüştür. Bu sırada EDTA ve CaCl_2 ile ekstrakte edilebilir metaller, mikrobiyal karbon biyokütlesi ve metabolizma katsayısı 3 ve 7 haftalar arasında kayıt edilmiştir. Bir metalin girişi, o metalin çıkarılabilir konsantrasyonlarını etkilemiş, ikinci metal ise

her deneyde test edilmiştir. Bakırın davranışı nikel ve çinkodan farklıdır ve CaCl_2 ile birlikte az miktarda da olsa ekstrakte edilebilir hale gelmiştir. Buna rağmen CaCl_2 -Ni ve CaCl_2 -Zn belirgin şekilde 3 ve 7 haftalar arasında artış gösterirken, bakır konsantrasyonu değişmemiştir. Toprağın solunumu nikelin girişi ve bakır ile birleşmesiyle 1 haftada azalmıştır. Çinkonun ilk haftada eklenmesi ve diğer metallerin de 3 hafta sonraki girişleri, toprağın solunumunu artmıştır. Karbonun biyokütlesi, en yüksek metal dozları kullanıldığında (çinko hariç), en düşük miktarı 3 haftada göstermiştir. Metallerin girişi genellikle metabolizma katsayısını artırır, buna rağmen çinkoya tepkisi ise bazen önemli değildir.

Marinari vd. (2000) yaptıkları çalışmada, kum ve kil karışımı toprağa evsel atıksu arıtma tesisinden kaynaklanan arıtma çamurunu uygulamışlardır. 3 aylık inkübasyon döneminin sonunda toprağın asit fosfataz, dehidrogenaz ve proteaz BAA enzim aktivitelerinin arttığı görülmüştür. Dikkate değer miktardaki azotun toprağa girmesiyle, toprağın kendi organik maddesi etkilenmektedir. Açığa çıkan çözünabilir C ve N toprağın mikrobiyal biokütlesi için bitki besin maddesi kaynağı olmaktadır. Böylece toprağın enzim aktiviteleri artmaktadır.

García-Gil. (2000), yürüttükleri uzun vadeli bir arazi deneyinde, arpa denek bitkisi olarak kullanılmış ve önceki ekim işlemlerine göre 4 farklı davranış gözlemlenmiştir. Bunlar: kentsel katı atıklardan (MSW) oluşmuş karışık gübreler (20 t ha^{-1} veya 80 t ha^{-1} dozlarında), hayvan gübreleri ((MA) 20 t ha^{-1}), mineral gübreler (MIN) veya NPK (400 kg ha^{-1}) ve NH_4NO_3 (150 kg ha^{-1}). Bu uygulamaların toprağın enzim aktiviteleri ve mikrobiyal biokütlesinin üzerindeki etkileri 9 yıl sonra hasat zamanı hesaplanmıştır. Kontrol parseline kıyasla, kentsel katı atığı kullanan parsellerde karbon biokütlesi 10 birim artarak %46'lık bir uygulanma oranıyla, sırasıyla 20 ve 80 t ha^{-1} olmuştur. Bu durum MA işlemleri karbonun biyokütlesine %29'lara çıkarttığı sırada gözlemlenmiştir. Toprağın karbon biokütlesinin organik karbonuna oranı, en çok dozda kentsel katı atık uygulanan anda, en az miktarda tespit edilmiştir. Dehidrogenaz ve katalaz gibi oksidoreduktaz enzimleri, kentsel katı atık işlemleri ve MA işlemlerinde kontrol parsellerine göre daha yüksek çıkmıştır. Toprağın mikrobiyal metabolizmasındaki artışın, geri dönüştürülebilen karbon parçalarının mineralizasyonunun bir sonucu

olduğunu da belirten araştırmacı, biyolojik belirteçler kullanarak toprağın bünyesini düzenlemenin atık çamur uygulanan toprakların yönetimine ve sürdürülebilirliğine yardımcı olabileceğini belirtmiştir.

Albiach vd. (2000) tarafından, normal ve tavsiye edilmiş miktarlarda 5 organik düzenleyicinin (24 t/ha/yıl kentsel atık çamur kompostu, atık çamur ve koyun gübresi, 2.4 t/ha/yıl vermikompost ve 100t/ha /yıl ticari humik asit sıvısı) toprağın mikrobiyal biyokütle içeriği ve seçilen toprak enzim aktivitesi seviyesi (dehirogenaz, alkalın fosfataz, fosfodiesteraz, arielsülfataz ve üreaz) üzerine etkilerini uzun vadeli arazi deneyleriyle araştırılmıştır. Uygulamanın başlangıcından 4 - 5 yıl sonra, vermikompost ve sıvı humik asitin ölçülen parametreler önemli bir etkisi görülmediğini, bunun da nedeni üreticiler tarafından önerilen oranların kullanılabilirlik açısından çok yüksek fiyatlara sahip olmasının kaynaklı olabileceğini belirtmişlerdir. Daha gerçekçi uygulama oranlarından dolayı, çalışılan parametrelerin en yüksek değerleri, organik artıkların uygulanmasıyla bulunmuştur. Etkileri ise çoğu zaman istatistiksel olarak önemli bir düzeye ulaşmıştır. Kentsel katı atıklardan oluşan gübre toprağın enzim aktivitesinin en yükseğe artışa sahip verimli ürünü olarak tespit edilmiştir. Hayvan gübresi ve atık çamur ise daha az miktarda ama karşılaştırılabilir sonuçlar vermiştir. Çalışılan parametrelerin çoğu oldukça ilgisiz bulunmuştur. Bu durum organik atık uygulanmasından sonraki toprağın biyolojik aktivitesinin dengeli bir artışa sahip olduğunu göstermiştir.

Emmerling vd. (2000) tarafından yürütülen güncel çalışmanın amacı Lysimeter ve mesocosm çalışmalarındaki maden toprağındaki organik atık uygulamasının mikrobiyal ve enzim aktivitesindeki teşvik etkisini araştırmaktır. Araştırmada, üçüncül ve dördüncül depozitlerden elde edilen maden toprağı kahverengi kömür ve filtre külü (üçüncül depozit) ve kireçtaşı (dördüncül depozit) ile iyileştirildi. Tekrar sürülmenin başlangıcında topraklara farklı miktarlarda 30 cm derinliğinde atık çamur, kömür çamuru ve kompostlanmış çamur ve kompost uygulandı. Organik madde uygulamasından sonraki ilk iki yıl içinde özellikle dördüncül depozitten olan kumlu materyallerde çok düşük seviyede mikrobiyal özellik gözlemlendi. Mikrobiyal solunum, subsrata bağlı solunum ve atık çamur kompost ve atık çamur-kömür çamuru karışımlarının oranlarının artmasıyla invertaz ve alkalın fosfataz gibi enzimlerin

aktivitelerinde önemli bir artış gözlemlendi. Bu durum topraktaki organik madde ve besin maddesinin artması ve toprağın fiziksel özelliklerinde su ve besin maddesinin tutma kapasitesinin artması şeklinde açıklanabilir. Buna ek olarak olarak üçüncül depozitten seçilen kömür karışımları mineralce zenginleştirilebilir veya toprak mikroorganizması tarafından değiştirilebilir. Azotça zengin atık çamur uygulaması veya çok yüksek miktarlarda çoğunlukla yeşil atıktan oluşan olgun komposttan sonra en yüksek mikrobiyal aktivite ve enzim aktiviteleri kahverengi kömür ve kül ile iyileştirilmiş üçüncül materyallerde ölçüldü. Atık çamurla karşılaştırıldığında kompostlanmış atık çamurun tetikleyici etkisi organik madde fragmentasyonu ve toprak mikroorganizmaları için olan azaltılmış enerji ve besin kaynağı olması yönlerinden oldukça düşüktür.

Khan ve Scullion (2000) hafifçe asidik ve killi tınlı toprakta bakır, nikel ve çinko ile kirlenmiş atık çamur uygulayarak 3 deney yürütmüşlerdir. Deneylerde kullanılan atık çamurun bileşimleri farklıdır (Cu-Ni, Ni-Zn ve Cu-Zn). Metaller, metali düşük olan atık çamura 2 dozda (mevcut limitlerin alt ve üst seviyesi) eklenmiştir. Mikrobiyal endeksleri üzerine bu metallerin etkisi, 7 hafta boyunca laboratuvar inkübasyon koşulları altında araştırılmıştır. Eklenen çinkonun, mikrobiyal biyokütle üzerine az bir etkisi olmuştur. Bunun tersine, bakır ve nikel, karbondioksit gelişimini inkübasyonun ilk haftasında azaltmış, daha sonra artışına yol açtığı görülmüştür. Mikrobiyal biyokütle karbonu, yüksek bakır ve nikel uygulanan topraklarda daha az iken biyokütle azotu yüksek miktarda ağır metal kullanılan toprakların üçünde de daha az tespit edilmiştir ve bakteriden mantar biyokütlesine bir değişimin kanıtı olmuştur. Yüksek miktarda metal uygulanan topraklardaki en büyük karbondioksit gelişimi oranı, mikroorganizmalar üzerindeki baskının artmasına bir tepki gibi görünüyor. Atık çamur uygulanan topraklardaki limitlere yakın olan elektriksel iletkenlik, çinkonun, bakır ve nikel göre daha az toksik olduğunu kanıtlıyor.

Karaca ve Haktanır (2000), İzmit DUSA (Endüstriyel İplik Üretimi) ve SEKA (Kağıt ve Selüloz Üretimi) fabrikalarının atık su arıtma tesislerinde ortaya çıkan arıtma çamurlarının İzmit Alikahya Köyü'nden alınan tarım toprağının alınabilir kurşun (Pb) ve dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerinde etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla, laboratuvarda hazırlanan toprak-çamur karışımları tarla kapasitesinin % 70'i kadar

nemlendirilerek 28 °C 'de inkübasyona alınmıştır. Belirli oranlarda atık çamur örnekleri uygulanmış (kontrol, 20, 40, 80, 160 tonha⁻¹) toprak örneklerinde, alınabilir Pb 1., 5., 15., 30., 60., 120. ve 240. gün olmak üzere 7 inkübasyon döneminde, dehidrogenaz aktivitesi de 1., 3., 7., 14., ve 30. gün olmak üzere 5 inkübasyon döneminde belirlenmiştir. İki atık çamurunun farklı dozlarının topraklara uygulanmasıyla alınabilir Pb kapsamında önemli artışların bulunduğu belirlenmiş olup (P<0.01), SEKA çamuru ilave edilmiş toprakların alınabilir Pb kapsamındaki artışın DUSA çamuruna göre tüm dozlarda fazla olduğu saptanmıştır. DUSA ve SEKA çamurları dehidrogenaz aktivitesini farklı etkilemiştir. Her iki çamurun yüksek dozlarda ilave edildiği topraklarda dehidrogenaz aktivitesi artış göstermiş olup, bu artışın DUSA çamurunda daha fazla olduğu belirlenmiştir. DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda dehidrogenaz aktivitesi SEKA çamuruna göre daha fazla belirlenmiştir. DUSA çamuru ilave edilmiş topraklarda inkübasyonun 30. gününde 160 tonha⁻¹ çamur, dozunda dehidrogenaz aktivitesi 55.56 ggTPF g⁻¹ olarak bulunmuşken, aynı inkübasyon süresi ve aynı dozda ilave edilmiş SEKA çamurunda aktivite 38.90 1.1gTPF g⁻¹ olarak belirlenmiştir.

Organik madde içeriği yüksek olan kaynaklardan birisi de atık su arıtma tesislerinden çıkan arıtma çamurudur. Atık çamur adı verilen bu materyal farklı ülkelerde 20-30 yıldır yaygın olarak tarım alanlarında kullanılmaktadır. İçeriğindeki yüksek organik madde ve bitki besin elementleri ile maliyetinin ucuz olması, bitkisel üretimde ticari gübrelerin yerine geçebilecek bir materyal olmasını sağlamaktadır. Atık çamurun tarım topraklarına uygulanmasının yararlı etkileri ile ilgili yapılan birçok araştırma bulunmaktadır. Bu çalışmalar, atık çamur uygulamasının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiğini göstermektedir (Aggelides ve Londra 2000, Benitez vd. 2001, Selivanovskaya vd. 2001).

Kunito vd. (2001) tarafından arıtma çamurları üzerine yaptıkları çalışmaya göre, mikrobiyal biyokütle karbonunun miktarı arıtma çamuru ya da kompost uygulamaları ile artmıştır. Ancak bazı enzim aktivitelerinin mikrobiyal biyokütle oranı, kontrol topraklarına oranla daha düşük çıkmıştır. Toprak enzim aktivitelerini en fazla olumsuz etkileyen element Zn olmuştur.

Quemada vd. (2001), Arazuri araştırma istasyonunda (Navarra, İspanya) arazi parsellerinde atık çamur uygulamasının toprak solunumu üzerindeki kalıntısız etkisini araştırmışlardır. Araştırmada 1 yıl sonra infrared çözümleyici yardımıyla atık çamur eklenmiş veya eklenmemiş parsellerin toprak solunumu ölçüldü. Toprak solunumu bir yıl önceden 80 mg ha^{-1} çamur uygulanan toprakların herhangi bir şey kullanılmayana göre daha yüksektir. 40 mg ha^{-1} atık çamur uygulanan toprakların solunum miktarı, kontrole göre artış göstermiş, bunun nedeni ise toprağın sıcaklığı ve su miktarı yüksek mikrobiyal aktiviteye uygun koşullardandır. Bu sonuçlara göre, bir yıl atık çamur kullandıktan sonra, toprağın solunumu hala atık çamurun kullanma miktarına bağlıdır. Ölçümler toprak sıcaklığı ve nem miktarı tarafından çok etkilendiği için ölçüm alınırken çok dikkatli olunmalıdır.

Albiach vd. (2001), yaptıkları araştırmada, 2 farklı atık çamuru (aerobik ve anaerobik $400, 800$ ve $1200 \text{ kg N/ ha/yıl}$) gübre olarak 10 yıl boyunca toprağa uygulamıştır ve bunun etkisini toprağın toplam kararlılığı ve ilgili organik madde bileşimlerinin içeriği, mikrobiyal biyokütleleri ve 5 enzim aktivitelerinin seviyeleri (alkalin fosfataz, fosfodiesteraz, üreaz, ariyl sülfataz ve dehidrogenaz) incelenmiştir. İki farklı çamurun orta ve yüksek miktarda uygulanması önemli miktarda organik madde ve humik asitlerini artırmıştır. Toprağın biyolojik aktivitesi olarak, verilerin yüksek çeşitliliği davranışlar arasında gözlemlenen büyük farklılıklara rağmen istatistiksel önemin genel olarak yokluğu yol açmıştır. Fosfodiesteraz enziminin aktivitesinde önemli artış görülse de, yüksek miktarda aerobik ve yüksek ve orta miktarda anaerobik atık üretilmiştir.

Karaca vd. (2002), toprak biyokimyasal aktivitesine ve ekstrakte edilebilir Cd'ye , atık çamur (Sw) veya atık çamur olmaksızın kadmiyum kirlenmesi (50 mg kg^{-1}), ve PO_4^{-3} gübresi (P) eklenmesinin etkisini 112 günlük inkübasyon deneyi ile belirlemişlerdir. Üreaz ve N-asetilglukosaminadaz (N-acetylglucosaminidase) aktiviteleri dışında tüm enzim aktiviteleri ortamdaki Cd ile negatif korelasyon içerisindedirler. Toplam kültürlenebilir bakteri popülasyonu sadece Sw eklenmesiyle inkübasyon dönemindeki ($P < 0.05$) kontrole göre dikkat çekici bir biçimde daha fazladır. *Florescent pseudomonads* sayısı zamanla azaldı, fakat Sw artışıyla önemli bir biçimde arttı. Sw ve PO_4^{-3} eklenmesi mantar popülasyonunu arttırırken, toplam mantar popülasyonu tüm

uygulamalarda zamanla azaldı. Cd olan ortamda Sw eklenmesi mantar populasyonunu sadece Cd'ye bağılı olarak arttırmıştır. Sonuçlar Cd kirlenmesinin besin devrimine ve mikrobiyal aktiviteye büyük çapta zarar verdiğini ve Cd etkisinin Sw ve P eklenmesiyle azalacağını göstermiştir.

Khan vd. (2002)'e göre, atık çamur toprak verimliliğini artırabilir fakat atık çamur metallerinin toprak mikroorganizmaları ve mikrobiyal işlemine etkisi konusunda endişeler vardır. Birkaç seri toprak - atık çamur karışımı laboratuvar inkübasyon denemesinde solunum, biyokütle C ve N, ve N mineralizasyonuna çeşitli metallerin (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) etkisi araştırıldı. Herbir metal farklı deneylerdeki standart bir atık çamura EC limitinin altında birkaç defa da EC limitinde eklendi. Tepkiler metaller ve indisler arasında çeşitlilik gösterdi. Cd ($<70 \text{ mg kg}^{-1}$ toprakta) herhangi mikrobiyal endekse etki etmedi. Diğer metallerin daha yüksek konsantrasyonları genellikle biyokütle C ve N değerlerinde düşmeye sebep oldu. Karbon değerindeki azalma N'e göre daha az oldu. Çoğu durumda daha yüksek metal konsantrasyonları solunum oranlarını. Çalışma sonucunda araştırmacılar, yüksek metal konsantrasyonları içeren çamurların topraklarda kullanımının, toprak mikrobiyal toplulukları ve bunların aktivitelerinde kısa süreli değişikliklere neden olabileceğini bildirmişlerdir.

Uygunsuz tarım uygulamaları, ters çevresel koşullar ile birlikte Akdeniz Bölgesinin çoğunda toprak bozulmasına yol açmaktadır. Yarı kurak bölgelerin bozulmuş topraklarının özelliklerini iyileştirmek ve böylece biyojeokimyasal besin madde döngüsünün geliştirilmesi için, organik madde uygulaması bir yöntem sayılır. Ros vd., (2002) yaptıkları çalışmada, kentsel atıklara (taze ve kompostlanmış) organik materyal eklenmesinin, farklı karbon parçaları, mikrobiyolojik ve biyokimyasal parametreleri (mikrobiyal karbon biyokütlesi, bazal solunumu ve farklı enzim aktiviteleri) üzerine etkisi, İspanyanın bozulmuş topraklarında, 2 yıl boyunca değerlendirilmiştir. Üç aylık organik materyal uygulanmasından sonra, doğal bitki büyümesi oluşmuş ve bitki örtüsü deneyin sonuna kadar devam etmiştir. Organik toprak düzenleyicisi, başlangıçta, toprağın organik madde, mikrobiyal biyokütle, bazal solunum ve bazı karbon ve azot döngüleri ile ilgili olan enzim aktivitelerinin seviyesini artırmıştır. Bu miktarlar zamanla azalmakta ancak her zaman uygulanmayan topraklara göre, bu miktar daha yüksek

kalmaktadır. Sonuçlara göre, kentsel organik atığın eklenmesi, bozulmuş toprakların kurtarılması ve mikrobiyal aktivitenin artırılması için faydalıdır. Toprak karakteristiği çalışmalarında kompostlanmış atıkları birleştirme, taze organik atıkları birleştirmeye göre daha iyi sonuç göstermiştir.

Moreno vd. (2002)'e göre, kadmiyumun toprağın mikrobiyal aktivitesi üzerine toksik etkisi vardır ki bu aktivite aslında besin döngüsünde dolayısıyla da toprak verimliliğinin korunmasında önemli bir rol oynar. Buna ilave olarak, bu ağır metalin topraktaki hareketi, atık çamur gibi kentsel atıkların toprağa eklenmesinden etkilenir. Bu çalışma, atık çamurun yarı kurak topraklarda uygulanmasının -ki daha önceden kadmiyum la kirlenmiştir- ve bu ağır metalin toprağın mikrobiyal biyokütlesi ve aktiviteleri üzerine toksik etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Dehidrogenaz aktivitesi, ATP miktarı, mikrobiyal toprak solunumu ve mikrobiyal biyokütle karbonu kadmiyumun toksik etkisinin biyoindikatörü olarak kullanılmışlardır. Mikrobiyal aktivite ve biyokütlenin farklı kadmiyum konsantrasyonlarının (0-8000 mg Cd kg⁻¹ toprakta) kadmiyumun 3 farklı ekolojik dozundaki (Cd: ED50, ED10, and ED5) engelleme miktarını hesaplamak için, 3 matematiksel model ile tanımlandı. Genel olarak, atık çamur uygulanan topraklarda, kontrol parsellerine göre daha yüksek ED değerleri hesaplanmıştır. Bu yüzden kadmiyumun mikrobiyal aktivite üzerine toksik etkisi, atık çamur uygulanan topraklarda, kontrol parsellerine göre daha azdır diyebiliriz. Ayrıca, toprakta gözlemlenen kadmiyumun kirlenmesinden sonra ED miktarları zamanla artış göstermektedir.

Lee vd. (2002) tarafından yapılan çalışmada, arıtma çamuru uygulamasının kumlu tın özellik gösteren bir toprağın biyolojik özelliklerinde meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, kullanılan kentsel atıksu arıtma tesisi çamuru, endüstriyel arıtma çamuru, deri sanayi arıtma çamuru ve alkol fermantasyon çamuru uygulamalarının, 5 yıllık uygulama periyodu süresince topraktaki enzim aktivitelerini belirgin şekilde düşürdüğü tespit edilmiştir. Topraktaki selülaz, dehidrogenaz, üreaz ve alkali fosfomonoesteraz enzimleri arıtma çamuru tipine ve miktarına bağlı olarak ciddi boyutlarda inhibe olmuşlardır.

Franco-Hernandez vd. (2003), atık çamur uygulamalarının toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini toprağın havalanmasında olumlu etkisi olduğunu, su tutma kapasitesini geliştirdiğini, toprağın katyon değiştirme kapasitesini iyileştirdiğini, organik madde içeriğini artırdığını, toprak yapısını iyileştirdiğini ve erozyonu önlediğini belirtmişlerdir.

Kocaer vd. (2003), gıda endüstrisi kökenli bir arıtma çamurunun azotlu gübre potansiyelinin ortaya konması amacıyla yaptıkları bir araştırmada, farklı oranlarda çamur uygulanmış toprakları 194 gün süresince inkübe ederek mineralize olan organik azotun ve inorganik azot formlarının zamana bağlı olarak değişimlerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçları, farklı oranlarda çamur uygulanmış ve uygulanmış topraklarda organik azotun ilk 136 gün boyunca (yaklaşık 4.5 ay) hızla mineralize olduğunu ve mineralizasyonun 136.günden sonra yavaşladığını veya durduğunu göstermiştir. İnkübasyon çalışmasının sonucunda 16 gkg⁻¹ oranında yapılan çamur uygulamasının azot mineralizasyonu açısından en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Marschner vd. (2003), bazı organik materyal ve inorganik gübrelerin düşük miktarda fakat uzun süreli uygulanmasının, toprağın biyolojik ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Denemede 5 farklı uygulama yapılmış (N, P, K, ürün atıkları, mineral gübre + ürün atıkları, ahır gübresi, arıtma çamuru ve saman) ve kullanılan organik materyallerin toprağın organik karbon içeriğinde herhangi belirgin bir etki ortaya çıkmamıştır. İncelenen enzimlerden sadece proteaz aktivitesi farklı uygulamalardan etkilenmiştir. Bu enzim aktivitesi arıtma çamuru uygulaması ile artmış, sadece mineral gübre uygulamalarında ise azalmıştır.

Barbarick vd. (2004), doğal ekosistemlere (fundalık ve çayır mer'a) iki farklı dozda (30 ve 40 mg ha⁻¹) bir kez uyguladıkları arıtma çamurlarının etkilerini 6 yıl süreyle araştırmışlar ve mikrobiyal biyokütlenin en az %11 oranında, toprak solunumunun ise kontrol araziye oranla 1.7 (çayır mer'a) ve 2.3 kat (fundalık) arttığını saptamışlardır. Araştırmada ayrıca azot mineralizasyonunun da çayır meralarda 3.6 ve fundalık arazide 5.4 kat yükseldiği belirlenmiştir.

Garicia-Gil vd. (2004), 40 t ha⁻¹ dozunda arıtma çamuru uyguladıkları arpa bitki örtüsü altındaki topraklarda, çamurun bakiye etkisini uygulamadan 9 ve 36 ay sonra izlemişlerdir. Araştırmacılar mikrobiyal biyokütle, bazal solunum, metabolik oran (qCO₂) ve enzimatik aktivitelerin 9 ay boyunca attığını saptamışlar ve bunun nedenini de artan mikrobiyal metabolizma ve zenginleşen minaralizasyon olaylarına bağlamışlardır. 36 ay sonra ise, bu parametrelerin kontrol toprağın değerine yakın değerler verdiğini bildirmişlerdir.

Tan vd. (2004), Alüviyal topraklarda bazı enzim aktiviteleri ve ağır metal konsantrasyonları üzerine endüstriyel ve evsel arıtma çamurunun etkilerini saptamak üzere saksı kültürü denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Evsel arıtma çamurlarındaki ağır metal konsantrasyonlarının daha düşük ve biyolojik yararışlılığın yüksek olduğunun saptandığı çalışmada, çamur uygulaması toprakta, üreaz, polifenol oksidaz ve nötral fosfataz aktiviteleri topraktaki değişmiştir. Araştırmacılar, polifenol oksidaz ve katalaz aktivitelerinin topraktaki Zn kirliliğini belirlemede indikatör olarak kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir

Kızılkaya ve Bayraklı (2005), atık çamurun değişik dozlarının (0, 100, 200 ve 300 ton ha⁻¹) ve C:N oranlarının (3:1, 6:1 ve 9:1), 25 C de, %60 toprağın su tutma kapasitesinde killi tınlı bir toprağa uygulanmasının topraktaki enzim aktivitesi (β-glukosidaz, alkali fosfataz, arysülfataz ve üreaz) üzerine etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, çamur uygulanan topraklarda enzimatik aktiviteler genellikle inkibasyon zamanıyla azalma eğilimi gösterdi. Arıtma çamurları aynı zamanda topraklardaki alınabilir metal (Cu, Ni, Pb ve Zn) içeriğini de artırdı. Araştırmacılar, bütün çamur dozlarında ve C:N oranlarında çamur ilavesi yüzünden oluşan alınabilir toprak metallerinin varlığı toprak enzimatik aktivitelerini negatif yönde etkiledi.

Fernandez vd. (2005), yetiştirdikleri mısırın azot ihtiyacını baz olarak uyguladıkları çamur dozlarına bağlı olarak topraktaki bazal solunum, mikrobiyal karbon ve mikrobiyal biyokütle azotu, metabolik oran (qCO₂) ve enzimatik aktivitelerin arttığını ve bunların değerlerinin arıtma çamuru dozlarıyla pozitif ilişkiler verdiğini saptamışlardır.

Stoven vd. (2005), uzun süreli bir arıtma çamuru denemesinde, ağır metallerle zenginleştirilmemiş çamurun 13 yıl sonraki mikrobiyal etkilerini araştırmışlardır. Her iki tip çamurun aerobik heterotrofik bakterileri ve aktinomisetleri uyardığının saptandığı çalışmada, fungus ve aerobik selülotik bakteri sayılarının ağır metallerce zengin çamur uygulamalarında diğerine oranla daha azaldığı ve dehidrogenaz aktivitesi ile mikrobiyal biyokütlede de benzer sonuçları verdiği belirlenmiştir.

Benitez vd. (2004), belediyeye ait arıtma çamuru (biyokatı) ile zeytinyağı fabrikası atığının (zeytin keki) ayrı ayrı ve kombine uygulamalarında humik maddeler ile 3 adet hidrolitik enzim (β -glukozidaz, fosfataz ve üreaz), 9 aylık bir kompostlama işlemi boyunca incelenmiştir. Araştırmada arıtma çamuru ile zeytinyağı fabrikası atığı karıştırıldığında mikrobiyal aktivitenin attığı belirlenmiştir. Yine her iki örnekte de 9 aylık bir kompostlama periyodundan sonra organik ekstraktların β -glukozidaz, fosfataz ve üreaz aktivitelerinin ya attığı ya da aynı kaldığı saptanmıştır. Araştırmacılar, kompostlaşmış zeytin kekinin yalnız ya da biyokatılarla (arıtma çamurlarıyla) karışık olarak ıslah materyali olarak kullanımının, özelliği bozulmuş topraklarda karbon, fosfor ve azot döngüsünü tekrar aktive etmek için iyi bir alternatif olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Mora vd. (2005), İspanya'da ağır metal ile kontamine olmuş bir toprağın, ıslah çalışmaları sonucunda mikrobiyal içerikleri (mikrobiyal karbon biokütlesi (MBC), arylsülfataz, β -glukozidaz, dehidrogenaz enzim aktiviteleri ve mikrobiyal hetrotrofik potansiyel) yanında bazı kimyasal özelliklerinde (pH, CaCl_2 , çözünebilir ağır metal konsantrasyonları, toplam organik karbon ve suda çözünebilir karbon) meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Denemede 4 adet organik ıslah materyali (çöp gübresi, biyokatı kompostu, leonardit ve kuru sap-saman ot karışımı) ve inorganik ıslah materyali (şeker pancarı kireci), 100 t a^{-1} dozunda toprağa uygulanmıştır. Genel olarak bu uygulamalar toprağın kimyasal özelliklerinin düzeltilmiştir. Çözünebilir ağır metal konsantrasyonu azalırken, toprak pH'sı, toplam organik karbon ve suda çözünebilir karbon, uygulama yapılmış topraklarda artmıştır. Ayrıca topraklarda saptanan yüksek mikrobiyal biyokütle karbonu, enzim aktiviteleri ve glukoz mineralizasyon değerleri, uygulamaların kontamine olmuş topraklarda toprak kalitesini iyileştirdiğini göstermiştir.

Farklı ağır metal iyonlarının kültür uygulanmamış kumlu-balçık topraktaki mikroorganizmaların CO₂ üretimine etkisi üzerine çalışıldı. Topraklar C, N, P ile sodyum nitrat, potasyum, fosfat, glukoz formalında sırasıyla beslendi. Üçüncü haftaya gelindiğinde inhübasyonlar gözlemlendi, fakat yüksek miktarda önem taşıyan etkiler altıncı hafta inkübasyona döneminden sonra ortaya çıktı. Kobalt iyonları kültüre edilmemiş farklı inkübasyon dönemlerindeki toprak örneklerinde CO₂ üretimini azaltmada en düşük etkiye sahipti. Gaz üretiminde en güçlü inhibisyon kadmiyum iyonları etkisiyle ortaya çıkmıştır. (Al Gaidi ve Abdousalam 2010)

Fernandes vd. (2005) tarafından yapılan çalışmanın amacı, atık çamurların uzun süreli ve devamlı kullanımının, toprağın mikrobiyal biokütlesi, bazal solunumu, metabolizma katsayısı ve enzim aktivitesini, koyu kırmızı demirli latosollarda, arazi koşullar altında ve tropik bir iklimde etkisini takip etmektir. Bu amaçla, 4 atık çamur koyu kırmızı demirli latosol topraklarda uygulandı. Atık çamur 0.1.2.4 ve 8 defa tavsiye edilmiş miktarda, bu miktar onların azot miktarına bağlı olarak ve 4 defa arka arkaya yapılan mısır ekiminde kullandı. Sonuçlara göre, bazal solunum miktarı, karbon ve azot mikrobiyal biyokütlesi, metabolizma katsayısı (qCO₂) ve enzim aktivitesi, atık çamur uygulanan topraklarda artış göstermiştir. Artış miktarı ve atık çamur dozu arasında olumlu korelasyon görülmüştür. Toprak üreaz ve amialz aktivitesi, atık çamur dozu arttıkça artmıştır. Bu sonuçlara göre, atık çamurun kullanım miktarını hesaplamasında, azot ihtiyacının göze alınması ve yıllık ihtiyacından fazla kullanmaması önerilmiştir.

Selivanovskaya ve Latyopva (2006), kompostlanmış atık çamurun sarıçam (*Pinus sylvestris*) yetiştiriciliği için oluşturulan orman fidanlığı topraklarında iyileştirme faktörü olarak kullanımının yararları ve tehlikelerini değerlendirmek amacıyla iki yıllık bir çalışma yürütmüşlerdir. Gri orman toprakları (Haplic Greyzem) hektara kuru madde oranı 25, 50, 75, 100, 150 ve 175 t olan kompostla düzenlendi. Toprağın organik madde içeriği kullanan atık çamur dozuna bağlı olarak yükselirken metal miktarı da yine atık çamur dozuna bağlı olarak yükseldi. Bununla birlikte, her bir metalin konsantrasyonu Rusya ve Avrupa ülkelerinde kabul olan limitlerin altında bulundu. Atık çamur uygulanan topraklarda çimlenme gelişmiş ve tohum ölüm oranı azalmıştır ve bu

artış en yüksek dozdaki atık çamur uygulamasında belirgin şekilde görülmektedir. Fidelerin biyokütlesi üzerine olan olumlu etkileri, filizlerin yükseklikleri ve çam fidelerinin köklerinin uzunluğu en yüksek dozda kompost çamur uygulanmış parselde çok daha iyiydi. Atık çamur kompostu kullanılan topraklarda mikrobiyal biyokütle artmış ve bunu takiben az bazal solunum da az miktarda artmıştır. Bu çalışma mikroorganizmalar üzerinde zararlı etkileri olmaması halinde, kompostlanmış arıtma çamurunun organik - mineral bir gübre olarak orman fidanlığı topraklarında kullanmasını desteklemektedir.

Aoyama vd. (2006), çalışmasında, kireçle karıştırılmış atık çamur uygulamalarından dolayı yüksek arazilerde kalsiyum birikmiş toprakların mikrobiyal biyokütleyi etkileyen faktörleri incelemiştir. Kireçle karıştırılmış farklı dozlarda (0, 20,40 ve 60 mg ha⁻¹) atık çamur uygulanmış arazilerinden toprak örnekleri 0-10 cm derinliğinden 4 yıl boyunca alınmıştır. pH değerleri ve değişebilir Ca⁺² miktarları, atık çamur kompostunun uygulandığı miktarın artmasıyla, artış göstermiştir. Toplam kadmiyum, bakır ve çinko konsantrasyonları, kireçle karıştırılmış ha⁻¹ yıl⁻¹ oranında atık çamur uygulanmasıyla yükselmiştir. Kireçle karıştırılmış atık çamur uygulanmış toprağın elektriksel iletkenliği artmıştır. Bunun da nedeni suda çözülebilir Ca⁺² miktarıdır. Kireçle karıştırılmış atık çamur kompostu, mikrobiyal biyokütlenin toplam toprak karbonuna olan oranını azaltmış, biyokütlenin özgül solunumunu (qCO₂) artırmıştır. Bu durum topraktaki mikrobiyal biyokütle üzerindeki kireçle karıştırılmış atık çamur kompostu uygulamasının olumsuz etkilerini göstermektedir. Atık çamur uygulanmış topraktaki önceden bulduğumuz bulguların aksine ergosterol içeriğinin analizi sonucu fungal biyokütlenin toplam mikrobiyal biokütleye oranında herhangi bir artış açığa çıkmamıştır. Bu topraklarda kullanılan ağır metallerin konsantrasyonu, mikrobiyal biyokütlenin üzerine olumsuz etkisi olamayacak kadar düşüktür. Aksine, toprağın elektriksel iletkenliğinin ve suda çözülebilir Ca⁺² miktarının artmasıyla, mikrobiyal biyokütle karbonunun toprağın toplam karbonunun oranı, önemli miktarda azalmıştır, qCO₂ ise önemli miktarda artmıştır. Bu yüzden, suda çözülebilir Ca⁺² miktarının elektrolit konsantrasyonla ilişkilendirilmesi, kireçli atık çamur kompostu uygulanan topraklardaki mikrobiyal biyokütleyi etkileyen en önemli faktördür.

Laternus vd. (2007)'e göre, arıtma çamurlarının tarım arazilerine uygulanmasının, besin maddelerinin yeniden kazanımına ve atık çamurun bertaraf edilmesine imkan sağladığından hem sürdürülebilir hem de ekonomik bir yöntemdir Toprağın organik maddece zenginleşmesini sağlamak, su tutma özelliğini iyileştirmek, toprağa azot ve fosfor gibi besin/gübre elementlerini vermek bu uygulamanın en önemli avantajlarıdır.

Wolna-Maruwka vd. (2007), yaptıkları çalışmada atık çamurun farklı dozlarının, toprağın mikroorganizmalarının dinamiğinin gelişmesi bununla beraber toprağın solunum aktivitesinin üzerine etkisini ortaya koymuşlardır. Araştırmada, 4 uygulama, kontrol (toprak +NPK), 2 ton atık çamur ha⁻¹yıl⁻¹ +NPK, 4 ton atık çamur ha⁻¹yıl⁻¹ +NPK, 8 ton atık çamur ha⁻¹yıl⁻¹ + NPK uygulamaları denenmiştir. Bu çalışmalar arazi koşullarında yürütülmüştür. Denemenin birinci senesinde, kış çavd.arı deneme bitkisi olarak kullanıldı, ikinci sene ise test bitkisi olarak çavd.ar yerine patates ekildi. Toprak örnekleri birbirini takip eden bitki gelişim evreleri sırasında analiz için toplandı, plate methodu kullanılarak, toplam bakteri ve mantar sayısı ve toprakta patojenik bakteriler *Salmonella*, *Clostridium perfringes* ve *Escherichia coli* bakteri türleri belirlendi. Buna ek olarak, adsorpsiyon metodu yardımıyla, toprağın CO₂ çıkışı miktarı tespit edildi. Elde edilen sonuçlara göre, toprağa atık çamur şeklinde organik madde verilmesi bakteri ve mantar sayısında herhangi önemli istatistiksel değişim göstermemiştir. Bununla birlikte incelenen toprak örneklerinde bulunan patojenik bakteriler (*Salmonella sp.*, *Clostridium perfringens* ve *Escherichia coli*) , 66 (*Salmonella sp.*) ve 94 (*Clostridium perfringens* ve *Escherichia coli*) günün ardından bile hayatta kalmaya devam etmişlerdir.

Balík ve Pavlíková vd. (2007), model deneyler kullanarak, farklı bitkilerin (buğday ve kolza), suda çözünebilir fosfor miktarının, suyun pH değerinin ve rizosfer bitkisinin asit ve alkali fosfataz aktivitesinin üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu deneylerde ise, uzun vadeli farklı gübre sistemleri uygulandı: (i) kontrol (gübre uygulaması yok), (ii) atık çamur ve (iii) gübre. En düşük suda çözünebilir fosfor miktarı, tüm denemelerde, kökün yüzeyine yakın (2 mm kadar) olan bölgelerde tespit edildi. Kontrol (gübre uygulanmayan) topraklarda, rizosfer bölgesindeki suda çözünebilir fosfor miktarı, gübre uygulanan topraklara göre önemli miktarda daha düşüktür. Asidik ve alkali fosfataz aktiviteleri, rizosfer bölgesinde, toprağın diğer bölgelerine göre önemli miktarda daha

fazla belirlendi. Organik gübrelerin uzun vadeli uygulanması, fosfataz aktivitesini önemli miktarda artırdı, asidik fosfataz aktivitesi kolza bitkisinin rizosferinde, buğday bitkisinin rizosferine göre önemli miktarda daha yüksek belirlenmiştir. Gübre uygulanan topraklarda, asidik ve alkalın fosfataz aktivitesi, atık çamur uygulanan topraklara göre daha fazla artış göstermiştir. Uzun vadeli atık çamur uygulanan topraklarda ise, inorganik fosforun, toplam fosfora oranı, gübre uygulanan topraklara göre orantılı olarak artmıştır. Kolza rizosferinin toprağı, tüm çeşitlerinde suyun daha alçak pH değerine doğru bir eğilim göstermiştir. Oysa buğday rizosferi tam tersi bir pH eğilimi göstermiştir.

Revoredo vd. (2007), atık çamur uygulaması altında, tropikal bölgelerdeki topraklardaki nikelin rolünü ortaya koymak amacıyla Jaboticabal, São Paulo State, Brezilya'da, sera koşullarında çalışma yürütmüşlerdir. Amaç, önceden 329, 502, 746 ve 1119 mgkg⁻¹ kuru madde oranlarında nikel ile kirletilmiş darı ekili toprağı atık çamur uygulamasının etkilerini ve toprak enzim aktivitesi ile mikrobiyal biyokütle ilişkilerini değerlendirmektir. Deneyin başında ve sonunda toprak örnekleri toplandı. Deneyin yapı, 5 işlem (kontrol ve nikelin atık çamurda 4 farklı oranı) ve 4 tekerrür ile tamamen rastgeleydi. Nikel ile birleştirilmiş atık çamurun etki değerlendirmesi için duyarlı göstergeler olan toprak mikrobiyal bitokütlesinin karbon ve azot elementleri ve enzim aktiviteleri (asit ve alkalın fosfatazları) belirlendi. Toplam ve mikrobiyal biyokütle karbonu, değişebilir nikel (Mehlich1) arasında olumlu bir ilişki belirlendi. Toplam ile mikrobiyal C/N ilişkisi arasında ise olumsuz bir korelasyon belirlendi. Deneyin sonunda, alkalın fosfataz Ni metalinin her iki formuyla ilişkilendirilirken, asit fosfataz aktivitesi olumsuz bir şekilde toplam ve Ni ile ilişkilendirildi.

Juan vd. (2008), toprak sağığının sürdürülebilir karasal ekosistem gelişimi için önemli bir faktör olduğunu belirtmişler ve yürüttükleri bu çalışmada toprak mikrobiyal biyokütle ve toprak enzim aktiviteleri gibi toprak mikrobiyal özelliklerinin toprak sağığının biyoindikatörü olarak gösterilip gösterilmeyeceğini araştırmışlardır. Çalışmada, mikrobiyal biyokütle C ve N bileşenleri, toprak enzim aktivitesi ve toprak verimliliğı farklı gübre rejimleri ile Çin, Pekin Changping arazisindeki Drab Fluvo-aquic toprağında 15 yıllık uzun dönemli gübreleme deneyinde sürdürüldü. Bu bölgede,

7 farklı uygulama 1991 yılında kuruldu. Bunlar buğday-mısır döğüsünde ya hiç gübre kullanılmayan (CK), mineral gübreli (NPK), buğday samanı içeren mineral gübre (NPKW), arttırılmış buğday samanı içeren mineral gübre (NPKW+), mineral gübre ve domuz gübresi karışımı (NPKM), mineral gübreler ve arttırılmış domuz gübresi (NPKM+), veya mısır samanı eklenmiş mineral gübre (NPKS) şeklindedir. Farklı gübre uygulamalarında Cmic 96.49'dan 500.12 mgkg⁻¹ 'a değişmiştir ve Nmic 35.89'dan 101.82 mgkg⁻¹'a değişmiştir. Ck ile karşılaştırıldığında diğer uygulamalar Cmic, Nmic, Cmic/Corg (organik C) oranlarını, üreaz aktivitesi, toprak organik maddesi (SOM), topraktaki toplam azot (STN) ve toprak toplam fosforu (STP) miktarlarını arttırmıştır. NPKM etkeni ile gübre uygulamasında tüm bu özellikler en yüksek değerlere sahipti. Aynı zamanda, uzun dönemli mineral gübre-organik domuz gübresi veya bitki sapı kombine uygulamaları Fluvo-aquic topraktaki toprak pH değerini önemli miktarda düşürebilir (deneysel toprağın pH değeri yaklaşık 8.0'dır). Bazı toprak mikrobiyal özellikleri (Cmic/Nmic, üreaz aktivitesi) toprak besinleri ile pozitif korelasyon içinde belirlenmiştir. Katalaz aktivitesi hariç, bu deneydeki toprak pH değeri ve toprak mikrobiyal özellikleri negatif korelasyon içindedir. Sonuç olarak toprak mikrobiyal özellikleri toprak kalitesindeki değişimi göstermektedir bu sebeple toprak sağlığının biyo-indikatörü olarak kullanılabilirler.

Wolna-Maruwka vd. (2007)'e göre topraktaki CO₂ salınımı miktarı topraktaki mikrobiyal biyokütlenin veya organik maddelerin ayrışmaları gözlemlenmede indikatör olarak kullanılabilir. Fakat toprak mikrobiyal organizmaları her zaman toprak solunum aktivitesi ile ilişkili değildir. Toprak solunumu, organik madde içeriği ve sıklıkla mikrobiyal biyokütle ve mikrobiyal aktivite ile pozitif korelasyon içerisindedir. Bu yüzden yazarlar farklı dozlardaki kentsel atık çamurdan elde edilmiş atık çamurlardaki seçilen toprak mikroorganizmaları gruplarının gelişme dinamikleri olduğu kadar gri-kahverengi podzolik toprğındaki solunum aktivitesini ölçmek için bu çalışmayı yapmışlardır.

Pascual vd. (2007), arıtma çamuru ve kimyasal gübrelerin toprak üzerindeki potansiyel etkilerini ortaya koymak amacıyla laboratuvarında inkubasyon denemesi yapmışlardır. Deneme 64 gün devam etmiş ve 140 ton hektar⁻¹ arıtma çamuru uygulanmıştır.

Denemede iki farklı nem seviyesi kullanılmış, su tutma kapasitesi %6 ve %60 olarak tutulmuştur. Toprağın yarıyışlı azot, fosfor ve elektiriksel iletkenlik değeri çamur ilavesiyle beraber artış göstermiş, su tutma kapasitesi %60'ta tutulan topraklarda ise çamur ilave edilmiş topraklarda enzim aktiviteleri (proteaz, fosfataz ve b-glukozidaz, dehidrogenaz) ve mikrobiyal biyokütle karbonu ve kontrol ve kimyasal gübre ilave edilmiş topraklardan daha az bulunmuştur. Sonuç olarak kuru koşullar altında toprağın mikrobiyal aktivitesi mineral gübre ilavesinden ziyade arıtma çamuru gibi organik gübre ilave edilmiş topraklarda daha yüksektir.

Hati vd. (2007) yetersiz düzeyde agregat oluşumuna ve stabilitesine sahip tuzlu- alkali toprağa artan düzeylerde arıtma çamuru uygulamasının, agregat stabilitesi ve permeabilite katsayısı değerlerinde de önemli artışa neden olduğunu, permeabilite katsayısı değerlerinde meydana gelen bu artışın, agregasyonun iyileşmesi ve kütle yoğunluğundaki azalış ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Jezierska-Tys ve Frac (2008)'e göre, atık sulardan elde edilen atık çamur besin maddeleri içerir. Bunun yanında kirletici maddeler örneğin, metaller, patojenler ve organik kimyasallar da bulunur. Mandıraların atık çamurları (DDS) ise genellikle bu kirletici maddeleri içermez. Bu çalışmada, farklı dozlarda toprağa uygulanan atık çamurların (0, 30, 60, 80, 120, 200, 300 ve 600 mg ha⁻¹) toprağın dehidrogenaz aktivitesi üzerine etkisini, proteaz, üreaz ve değiştirilebilir NH⁺₄, NO⁻₃, NO⁻₂ içeriklerini, bir kahverengi toprakta bir de gri-kahve podzolik toprağında 240 gün süre ile incelenmiştir. Genellikle, atık çamurun uygulanmasından sonra, enzim aktivitesi başlangıçta artış gösterir ve bu artış mandıraların toprağa eklenen atık çamurunun miktarına bağlıdır. Ardından bu değerler azalmaya başlar, ancak genellikle bu miktar kontrol toprağına göre daha yüksek bir miktardır. Toprağın NH⁺₄ miktarının azalması, NO⁻₃ seviyesinin artmasıyla çakışmıştır. Mandıralardan elde edilen atık çamurlar her iki toprak türündeki mikrobiyal fonksiyonlar üzerinde pozitif etkiye sebep olmuştur, ancak araştırmacılara göre bu etkiler ayrıca arazi koşullarında da doğrulanmalıdır.

Oyal vd. (2008), kentsel katı atığın ve hayvan gübresinin uygulamasının, hidroliz enziminde farklı tepkilere sebep olduğunu belirtmişlerdir. Fosfataz aktivitesi kentsel

katı atık uygulanan (~ %62 her iki dozda) ve hayvan gübresi kullanılan (~ %73) parsellerde, mineral gübre ve kontrol parsellerine göre daha az düşmüştür. Üreaz aktivitesi %21 (C20) ve %28 (C80) seviyelerine kadar düşmüştür. Bunun muhtemel sebebi ise katı atık içeren ağır metallerdir. Ancak B-glukozidaz ve proteaz ise organik madde kullanan tüm topraklarda, özellikle de hayvan gübresi uygulanan topraklarda artmıştır. Bu sonuçlara göre, organik karbonun ve dehidrogenaz ile katalazın artışının çamurun mikrobiyal bir uyarımı olduğu görülmüştür. Atık çamur bitki besinleri (C, N, P ve K) açısından oldukça zengin bir kaynaktır. Bunların yanında çamur Zn, Cu, Fe, Cd, Pd, Ni, Hg ve Cr gibi ağır metaller de içerir. Bu metallerin bazıları düşük konsantrasyonlarda vazgeçilmez besinlerdendirler. Sürekli tekrarlanan ağır metaller ile kirlenmiş çamur ilavesi toprakta ağır metal birikimine bu da toprak sağlığına ters etkide bulunabilir. İzin verilen ağır metaller konsantrasyonuna yakın veya altındaki konsantrasyonlar mikrobiyal biyokütle karbon ve diğer aktivitelere etki etmez. Toprak mikrobiyal biyokütle karbonu ve aktiviter kirletilmemiş atık çamuru ilavesi ile artmıştır. Fakat metal ile kirlenmiş atık çamuru mikrobiyal biyokütle C ve N değerlerinde gerilemeye yol açmıştır. Daha yüksek seviyelerde metal kirliliğine sahip atık çamurda ise karbondioksit oluşmasına bağlı olarak organik madde birikmesi gözlemlenmiştir. Toprak mikrobiyal komünite yapısı ve bitki büyümesi de atık çamurun metalle kirlenmesinden olumsuz etkilenmiştir.

Dindar vd. (2010), farklı yöntemlerle stabilize edilen çamurların uygulandığı topraklarda çeşitli azot formları ve üreaz aktivitesi değerlerinde meydana gelen değişimleri izlemişlerdir. Evsel nitelikli ham arıtma çamuruna, patojen popülasyonunu değişen derecelerde azaltan dört farklı stabilizasyon yöntemi (havada kurutma, pastörizasyon, kireç stabilizasyonu ve kireç+kül stabilizasyonu) uygulanmıştır. İnkübasyonun 5, 8, 15, 22, 29 ve 34. günlerinde alınan örneklerde toplam azot, amonyum azotu ve nitrat azotu konsantrasyonları ile üreaz aktivitesi seviyeleri belirlenmiştir. Araştırmacılara göre, çamura uygulanan stabilizasyon yöntemlerinin arasındaki farkların, toprakların toplam azot konsantrasyonu ve üreaz aktivitesi değerine olan etkisinin önemsiz olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan, çamur uygulanan topraklarda belirlenen amonyum ve nitrat azotu değerlerinin ise çamura uygulanan stabilizasyon yöntemlerine bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. İnkübasyon sonuçları

özellikle alkali çamur uygulanan topraklarda, nitrifikasyon prosesinin amonifikasyona göre daha hızlı yürüdüğünü göstermiştir

Tarrason vd. (2010)'e göre, organik atıkların uygun geri dönüşümü, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerin etkilenmesiyle toprağın verimini artırabilir. Araştırmacılar, farklı atık çamurların (sindirilmiş, termal olarak kurutulmuş ve susuzlaştırmış kompost) toprağın mikrobiyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini kıyaslamak için bir yıldan fazla bir zamanda (401 gün) arazilerde, bozulmuş (tınlı ve tınlı kumlu) iki Akdeniz toprağına uygulanarak bir deney yürütmüşlerdir. Araştırma sonucunda, üç atık çamur toprağı tipinin de ölçülmüş parametreler üzerine önemli etkileri bulunmuştur. Kısa zamanda, termal kurutulmuş atık çamur uygulanan tınlı kumlu ve tınlı topraklarda en yüksek mikrobiyal bazal solunum (tınlı toprak: $P < 0.01$, tınlı kumlu toprak: $P < 0.001$) ve karbon mineralizasyon katsayısı (tınlı toprak: $P < 0.01$, tınlı kumlu toprak: $P < 0.001$) tespit edilmiştir. Üstelik termal kurutulmuş atık çamur uygulanan tınlı kumlu topraklarda, en çok mikrobiyal metabolizma kat sayısı ($q\ CO_2$) ($P < 0.05$), belirlenmiştir. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, çamurun ilavesi, tüm toprakların mikrobiyal özelliklerinin üzerine geçici denge dışı etkisi vardır. Ancak, 1 yıl denemeden sonra hiçbir değişiklik görülmemiştir. Bunun nedeni kalan organik karbonun tüm uygulamalarda, kararlı ve oldukça benzer olmasıdır. Bu sonuçlara göre, atık çamurun toprağına uygulaması, bozulmuş toprakların iyileştirmesi için pratik yöntem olabilir.

Lakhdar vd. (2010), laboratuvar koşullarında, 70 günden sonra, kentsel katı atıkların kompostunun veya atık çamurun ($13,3$ ve $26,6\text{ g kg}^{-1}$ toprakta), tuzlu topraklarda uygulanmasının, fiziksel ve kimyasal özellikleri kadar, ariylsülfataz, fosfataz, dehidrogenaz, beta glükozidaz, üreaz ve katalaz aktiviteleri üzerine etkilerini belirlemişlerdir. Kentsel katı atık kompostu ve atık çamur toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini özellikle karbon ve azot miktarları bakımından önemli miktarda geliştirmiştir. İki uygulamada da, tüm enzim aktiviteleri baştan artış göstermiştir ve en çok artış, $13,3\text{ g kg}^{-1}$ oranında kentsel katı atık kompostu uygulanan topraklarda ölçülmüştür. Bu artış miktarı dehidrogenaz, beta glükozidaz, fosfataz, üreaz ve katalaz için sırasıyla %107, 43, 20, 11 ve 148 oranlarında görülmüştür. En az yararlı etki, $26,6\text{ g}$

kg⁻¹ oranında kullanılan atık çamurda belirlenmiştir. Bunun nedeni ise muhtemelen, tuzluluğun çoğalması ya da atık çamurda iz elementlerin varlığı olabilir. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, 13,3 g kg⁻¹ oranında kentsel katı atıkların kompostunun kullanılması, tuzlu toprakların biyolojik aktivitelerini artırmak için en kullanışlı stratejilerden biri gibi görünmektedir.

Lakhdar vd. (2011), Akdeniz bölgelerinde, zor iklim koşulları ve yetersiz arazi yönetimi, toprağın organik maddesinin azalması probleminin çözümü için, kentsel atık çamur kompostu ve atık çamur etkinliği, toprağın veriminin korunması konularını araştırmışlardır. Bu denemede, killi tınlı topraklara 0, 40 ve 80 t ha⁻¹ oranlarında kentsel atık çamur kompostu ve atık çamuru uygulanmış ve makarnalık buğday (*Triticum durum*) bu topraklara ekilmiştir. Ekim işleminden 15 ve 70 gün sonra toprak örnekleme yapılmış ve bu topraklarda, ariyelsülfataz, fosfataz, dehidrogenaz (DH), A-glokozidaz (A-GLU), üreaz ve katalaz (CAT) enzimleri analiz edilmiştir. Buğdaylar 68 gün sonra hasat edilmiş, sonra toprağın özelliklerinin yanı sıra, bitki gelişimi ve K⁺ ve Na⁺ miktarları belirlenmiştir. Toprağın tüm enzim aktiviteleri, uygulanan doz miktarı, örnekleme zamanı ve bunların etkileşimlerinden önemli miktarda (p<0.01) etkilenmiştir. 15. gün örneklerinde, her iki dozda da kentsel atık çamur kompostu, DH, A-GLU ve katalaz aktivitelerini orta derecede etkilemiştir. 70. gün örneklerinde ise her iki dozda da (40 ve 80 t ha⁻¹) tüm enzim aktivitelerinde önemli bir artış görülmüştür. 70 günden sonra atık çamur uygulanmış toprakların enzim aktivitelerinde bir artış oluşmuş, buna rağmen atık çamurdaki mikro kirleticiler yüzünden, 80 t ha⁻¹ oranında atık çamur uygulanmış toprakların olumlu etkileri azalmıştır. Bitki gelişimi, 40 ve 80 t ha⁻¹ oranlarında kompost uygulanmasıyla (sırasıyla %93 ve %126) önemli miktarda artış göstermiştir. Ancak atık çamurun bitki gelişimine etkisi kompost uygulamasına göre daha düşüktür. Sonuç olarak, kentsel atık çamurun uygulanması, bozulmuş toprakların verimini artırabilme ve bitki gelişimini destekleme özelliğine sahiptir.

Frac vd. (2011)'e göre, C, N, ve P 'deki transformasyonlarla alakalı biyokimyasal indisler toprak kalitesi tanımlarında sıkça kullanılmaktadır. Bu tür değer biçmeler dehidrogenaz, fosfataz, üreaz ve proteaz gibi hidrolitik enzimlerin analizlerini içerir. Çalışmanın amacı mandıra atık çamurunun toprak kalitesini artırdığı veya düşürdüğü

yönünde değerlendirme yapmaktır. Toprak kalitesi tahminleri karşılaştırmalı mikrobiyolojik ve biyokimyasal parametrelere dayanır. Bu çalışmanın sonucunda mandıra atık çamurunun üzerinde çalışılan enzimlerde de görüldüğü gibi toprak mikroorganizmalarını teşvik ettiği yönündedir. Araştırmacılara göre, bu etki organik maddedeki toplam azot ve mineral miktarındaki artışa bağlanmalıdır.

Scherer vd. (2011), çiftlik gübresinin, atık çamurun ve kompost uygulamalarının organik karbon (Corg), mikrobiyal karbon (Cmic), mikrobiyal biyokütle (toprak solunumu, dehidrojeniz aktivitesi), toplam N içeriği ve toprakların N üretimi miktarı üzerine etkilerini uzun vadede (45 yıl) denemişlerdir. Hem kompost artışı uygulaması hem de yüksek miktarda atık çamur kullanılması Corg artışına yol açarken, hem kompost uygulanan hem de yüksek miktarda çiftlik gübresi kullanılan topraklarda önemli miktarda Cmic artışı gözlemlenmiştir. Cmic/Corg oranı 1.7 ve 3.3 arasında değişmiş, dehidrojeniz aktivitesi ve toprak solunumu en yüksek kompost ve çiftlik gübresi uygulaması içeren toprakta en büyük değerini göstermiştir. Toplam toprak N içeriği hem yüksek kompostlu toprakta hemde yüksek atık çamur içeren toprakta oldukça yüksek bulunmuş ve bu karaçayır bitkisinin en yüksek N alınımı oranıyla eşleştirilmiştir.

Demir ve Çimrin (2011), artan dozlarda arıtma çamuru (0, 10, 20 ve %30 AÇ) ve humik asit (0, 1000, 1500 ve 2000 mgkg⁻¹ HA) uygulamalarının kireçli bir toprakta yetiştirilen mısırın (*Zea mays L.*) gelişimine, besin elementi ve ağır metal kapsamı ve hasattan sonra uygulamaların bazı toprak özelliklerine etkilerini belirlemişlerdir. Artan dozlarda uygulanan arıtma çamuru, hasattan sonra deneme toprağının pH ve kireç içeriğinde azalmalara neden olurken, toprağın tuz, organik madde P, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Ni, Pb ve Co içeriklerinde önemli artışlara neden olmuştur. AÇ dozları mısır bitkisinin kök ve kök üstü aksamının yaş ve kuru ağırlıkları ile bitki boyunu önemli derecede artırmıştır. Artan AÇ ile mısır bitkisi kök P, K ve Zn, mısır kök üstü kısımlarında ise P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Ni, Pb ve Co içeriklerinde önemli artışlar saptanırken, kök Fe, Mn, Cd, Ni, Pb ve Co içeriklerinde önemli azalmalar saptanmıştır. Artan dozlardaki HA uygulamaları toprağın organik madde ve alınabilir P, Ca ve Mg içerikleri üzerinde önemli etkide bulunurken, diğer toprak özelliklerine önemli bir etkisi

saptanmamıştır. Mısır bitkisinin kök ve kök üstü kısımlarının yaş ve kuru ağırlıklarını ile bitki boyu HA'nın 1000 mgkg⁻¹'lik dozuna kadar artmış bu dozdan sonra önemli derecede azalmışlardır. HA uygulamaları ile mısırın kök mikro element içeriklerinde azalmalara neden olmasına rağmen bu durum istatistiksel olarak önemli bulunmamış ve sonuç olarak, %20'lik AÇ ve 1000 mgkg⁻¹'lik HA dozlarının en uygun olduğu görüşüne varılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Atık çamurların çevre üzerindeki olası olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi ve arzulanan tarımsal yararların optimize edilmesi için kullanılacak dozların, uygulandığı bölge toprakları ve ekolojik koşulları, lokal-toprak, lokal-ekoloji anlayışıyla dikkate alınarak yeterli ve güvenilir bilgilere sahip olunduktan sonra uygulanmaları gerekmektedir. Bu tez çalışmasında daha öncede belirtildiği gibi Çevre ve Şehircilik Bakanlığının KAMAG projesi kapsamında seçilmiş tesislerin çamurlarında yapılan analizlerin

değerlendirilmesinin yanı sıra, analizinde yarar görülen ek parametrelerle (burada da öncelikli olarak TKKY’de bulunmayan, ancak bir çok ülkenin yönetmeliğinde yer alan patojenler ve indikatör mikroorganizmaların çamur kekinde analizinin yapılması) ve yapılmış risk değerlendirme çalışması neticesinde risk faktörü bulunmadığı tespit edilen arıtma çamurlarının çıkarıldığı bölgeye yakın alanlardan toprak örnekleri (0-20 cm) alınarak özellikleri belirlenmiştir ve inkübasyon ve sera denemelerinde kullanılmıştır.

3.1.1 İnkübasyon denemesinde ele alınan arıtma çamurlarının seçimi

Ele alınan arıtma çamurlarının seçiminde KAMAG projesi kapsamında detaylı çamur karakterizasyonunu takiben analiz edilen çamurların Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik’teki sınır değerlerini aşan çamurlar değerlendirmeye alınmamış, geride kalan çamurlarda da ODTÜ grubu tarafından detaylı bir risk değerlendirme çalışması yapılmıştır. Tarımsal kullanım potansiyellerini belirlemek amacıyla risk unsuru yüksek, orta ve düşük olan çamur gruplarından her birinden 3’er adet olmak üzere toplam 9 çamur örneği seçilmiştir. Her

grupta bulunan çamur örnekleri arasındaki seçimde Türkiye'nin tüm bölgelerinin içermesine ve 7 bölgeden de çamur örneğinin denemelere tabi tutulmasına dikkat edilmiştir.

Tarımsal kullanımlarının belirlenmesine yönelik inkübasyon denemesine alınmak üzere seçilen çamurlar çizelge 3.1 'de, çamurların içerik analiz değerleri çizelge 3.2- 3.3 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Tarımsal uygulama denemelerine alınan arıtma çamurları

Yüksek risk grubu çamurları	GASKİ-2 (Güneydoğu Anadolu Bölgesi)
	Düzce- merkez (Batı Karadeniz Bölgesi)
	İzmir-Çiğili (Ege Bölgesi)
Orta risk grubu çamurları	Ankara (İç Anadolu Bölgesi)
	Antalya Lara (Akdeniz Bölgesi)
	Samsun-Bafra (Orta Karadeniz Bölgesi)
Düşük risk grubu çamurları	Elazığ (Doğu Anadolu Bölgesi)
	Karamürsel-Kocaeli (Marmara Bölgesi)
	Yozgat (İç Anadolu Bölgesi)

Çizelge 3.2 İnkübasyon denemesinde kullanılan arıtma çamurlarının kimyasal içerikleri

Arıtma Çamuru	TKM %	TOM %	N %	C/N	P %	pH (1:2,5)	EC dS/m	CaCO₃ (%)
GASKİ-2	17,6	57,15	3,92	7,29	0,12	6,57	0,491	9,11
Düzce-merkez	16,7	55,76	3,94	7,08	0,32	7,18	0,313	1,97
İzmir-Çiğli	26,0	71,72	4,52	7,93	0,11	6,48	0,725	1,89
Ankara-Tatlar	30,5	44,93	2,62	8,58	0,07	8,65	0,895	5,77
Antalya- Lara	21	56	4,15	6,75	0,28	6,75	0,402	3,51
Samsun-Bafra	12,75	67,17	2,7	12,44	0,23	6,54	0,349	2,50
Elazığ	29,6	53,06	1,98	13,40	0,14	7,77	0,285	3,57
Karamürsel	21,05	48,82	3,02	8,08	0,12	6,62	0,672	2,14
Yozgat	23,1	63,93	4,29	7,45	0,07	8,07	0,448	3,03

TKM: Toplam Katı Madde
TOC: Toplam Organik Madde

Çizelge 3.3 İnkübasyon denemesinde kullanılan arıtma çamurlarının ağır metal içerikleri (mgkg⁻¹)

Arıtma Çamuru	Ba	Cd	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Se	Sb
GASKİ-2	571,20	0,644	10,31	84,72	<0,01	20,62	35,19	771,09	21,797	<0,005	4,439	<0,01
Düzce-merkez	765,35	0,898	35,15	31	<0,01	9,556	9,579	93,37	30,227	<0,005	6,571	<0,01
İzmir-Çiğli	181,75	0,254	59,05	70,39	<0,01	30,706	35,01	197,5	27,307	<0,005	7,265	6,099
Ankara-Tatlar	69,95	1,200	53,6	61,4	<0,01	22,166	9,20	644,6	10,267	<0,005	6,004	<0,01
Antalya-Lara	0,015	0,002	0,038	0,067	0,024	0,234	0,001	0,17	0,009	<0,005	<0,01	<0,01
Samsun-Bafra	168,55	0,460	2,979	25,14	<0,01	10,916	16,60	109,7	18,390	<0,005	5,439	<0,01
Elazığ	65,68	0,247	3,699	78,15	<0,01	2,0504	53,50	362,79	7,910	<0,005	10,156	<0,01
Karamürsel	53,21	<0,005	2,072	28,73	<0,01	10,326	0,928	29,34	10,827	<0,005	8,319	0,053
Yozgat	47,05	<0,005	1,151	25,41	<0,01	7,642	<0,5	<5	8,516	<0,005	8,326	<0,01

3.1.2 İnkübasyon denemesinde kullanılan toprak örneklerinin alınması

Çamur örneklerinin seçimini takiben çamurun çıkarıldığı bölgeye yakın tarım alanlarından toprak örnekleme yapılmıştır. Tarım alanlarından 0-20 cm derinlikten alınan toprak örnekleri Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarlarına getirilmiştir. Laboratuvara getirilen örnekler analizler için havada kurutulup 2 mm'lik elekten elenmiş, tarla kapasitesi, nem, tekstür, toplam N, yarayışlı P_2O_5 , değişebilir K_2O , kireç, organik madde, kation değiştirme kapasitesi (KDK), pH, EC, toplam ve alınabilir Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr analizleri yapılmıştır. Toprak örneklerinin kuruma, eleme ve analiz işlemlerini takiben inkübasyon denemesi kurulması işlemine geçilmiştir.

Tarımsal kullanımlarının belirlenmesine yönelik inkübasyon denemesine alınmak üzere seçilen toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 İnkübasyon denemesinde kullanılan toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprağın adı	% Kil	% Silt	% Kum	Tekstür Sınıfı	Tarla Kapasitesi (%)	pH	EC dS/m	OM %	Kireç %	Toplam N%	C/N	Yararışlı P mg/kg	Değişebilir K me/100 g	KDK me/100 g
Gaziantep	48,37	28,90	22,73	Killi	37,90	7,51	0,420	1,25	23,90	0,011	65,91	22,08	1,29	53,33
Antalya-Lara	22,71	35,01	42,28	Tınlı	19,57	7,53	0,443	3,91	87,97	0,015	151,20	20,50	0,49	18,22
Ankara	40,55	27,58	31,87	Killi	31,04	7,71	0,190	1,11	25,62	0,150	4,29	18,92	0,90	40,02
Karamürsel	33,65	22,03	44,32	Killi Tınlı	30,91	7,53	0,131	2,06	2,57	0,011	108,63	5,99	0,90	53,12
Samsun-Bafra	46,52	38,63	14,85	Killi	27,69	7,98	0,136	0,24	4,55	0,006	23,20	8,74	0,46	44,76
İzmir	12,38	24,78	62,84	Kumlu Tınlı	15,10	7,05	0,144	0,93	4,27	0,052	10,37	16,02	0,57	10,03
Yozgat	47,65	34,64	17,71	Killi	38,66	7,69	0,190	1,33	35,17	0,012	64,29	15,89	1,43	52,66
Elazığ	50,24	37,73	12,03	Killi	27,86	7,91	0,148	1,55	41,48	0,031	29,00	28,20	0,75	37,45
Düzce	39,12	42,01	18,87	Siltli Kil Tın	37,56	7,05	0,196	2,28	1,019	0,022	60,11	67,98	1,29	46,23

Çizelge 3.4 İnkübasyon denemesinde kullanılan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri (mg/kg) (devam)

Toprağın adı	Toplam Zn	Toplam Pb	Toplam Cd	Toplam Ni	Toplam Cu	Toplam Cr
Gaziantep	61	18	<mts	69,9	25	60
Antalya-Lara	81	29	<mts	50	56	72
Ankara-Haymana	39	21	<mts	39,8	17	<mts
Karamürsel	45	25	<mts	44,7	22	<mts
Samsun-Bafra	57	32	<mts	63,5	34	34
İzmir	37	23	<mts	42,1	11	<mts
Yozgat	46	42	<mts	32,6	24	<mts
Elazığ	55	14	<mts	26	18	41
Düzce	75	65	<mts	43,2	35	<mts

mts: minimum tayin sınırı

Çizelge 3.4 İnkübasyon denemesinde kullanılan toprak örneklerinin alınabilir ağır metal içerikleri (mg/kg) (devam)

Toprağın adı	DTPA Zn	NH ₄ OAC-Pb	DTPA Cd	DTPA Ni	DTPA Cr	DTPA Cu
Gaziantep	0,08	0,20	0,50	0,102	<0,5	0,26
Antalya- Lara	0,60	0,28	<0,5	0,065	10,1	3,00
Ankara	0,03	0,23	0,50	0,08	<0,5	0,25
Karamürsel	0,23	0,22	0,75	0,23	<0,5	0,45
Samsun-Bafra	0,03	0,56	0,51	0,16	<0,5	0,30
İzmir	0,13	0,56	0,083	0,27	<0,5	0,29
Yozgat	0,014	0,24	0,56	0,12	<0,1	0,29
Elazığ	0,32	0,40	0,54	0,10	<0,1	0,106
Düzce	0,61	0,50	0,79	0,49	0,05	1,01

3.1.3 Sera denemesinde kullanılan çamur ve toprak örnekleri

İnkübasyon denemesini takiben arıtma çamurlarının bitki gelişimi üzerine etkisini ortaya koyabilmek amacıyla kontrollü koşullarda sera denemesi yürütülmüştür. Sera denemesinde her risk grubundan 1 arıtma çamuru denemeye tabi tutulmuştur. Denemeye tabi tutulacak arıtma çamurlarının belirlenmesinde inkübasyon denemesi sonuçlarının yanı sıra toprakların ve arıtma çamurlarının özellikleri de dikkate alınmıştır. Denemeye tabi tutulan İzmir toprağının kumlu tekstürde olmasından dolayı kaba bünyeli toprakta çamur-buğday verimi ilişkisini belirlemek amacıyla İzmir-Çiğli örnekleri denemeye alınmıştır. Ankara toprağı ise tarla denemesinin Ankara’da yürütülmesinden dolayı tarla denemesi öncesi çamur-buğday verimi ilişkisini kontrollü koşullarda ortaya koyabilmek amacıyla seçilmiştir. Sera denemesine alınan çamurların seçiminde toprakların yanı sıra çamurun özellikle EC içeriğine göre de seçim yapılmıştır. Elektriksel iletkenlik (EC) değeri en yüksek (İzmir-Çiğli ve Ankara) ve en düşük (Elazığ) olan çamur ilavesinin toprakta bitki gelişimine etkisini ortaya koymak, bu şekilde çamurun EC içeriğinin bitki gelişiminde etkisi olup olmadığını belirlemek

için de sera denemesine düşük risk grubunu temsilen Elazığ, orta risk grubunu temsilen Ankara amuru ve yüksek risk grubunu temsilen İzmir- Çiğli amuru kullanılmıştır. Söz konusu çamurlar, kendi bölgelerinden tarafımızca alınan toprak örnekleriyle uygulamaya tabi tutulmuş, test bitkisi olarak da buğday (Tosunbey) kullanılmıştır.

3.1.4 Tarla Denemesinde kullanılan çamur ve toprak rnekleri

Sera denemesinin başlatılmasını takiben, kontrollü koşullar dışında arazi koşullarında çamurun toprak ve bitki üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amacıyla tarla denemesi kurulmuştur. Evsel ve Kentsel Arıtma amurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik sınır değerlerinin altında kaldığı tespit edilen Ankara ASKİ arıtma amurunun İç Anadolu Bölgesi topraklarında buğday bitkisi yetişriciliği üzerine etkilenirini ortaya koyabilmek amacıyla 2010-2011 ekim döneminde Polatlı Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü arazisinde tarla denemesi başlatılmıştır. Tarla denemesinde Tosunbey buğday çeşidi kullanılmıştır. Arıtma amuru uygulamalarını içeren deneysel tarla koşullarını oluşturmak için yapılan ön işlemler aşağıda belirtildiği gibidir.

3.2 Yöntem

3.2.1 İnkübasyon denemesinin kurulması

İnkübasyon denemesi, 4 dozlu, 3 paralel ve 3 inkübasyon süresinde yrtlmştir. Toplam inkübasyon süresi 120 gündür. İnkübasyonda kullanılan plastik saksılar saf su ile yıkanmış kurutulmuş ve numaralandırılmıştır. Toprak Bölümü'ne getirilen arıtma çamurları inkübasyon denemesinde kullanılmak üzere 2 mm'lik elekten geirilmıştir.

İnkübasyon denemesine alınan arıtma çamuru örneklerinde en yüksek organik madde (OM) içeriği İzmir-Çiğli (%71) en düşük OM ise Ankara-Tatlar (%44) amurunda belirlenmiştir. En düşük N içeriğine Elazığ amuru (%1,98) sahip olup, en yüksek N içeriğine de İzmir-Çiğli amuru (% 4,52) sahiptir. En yüksek C/N oranı Antalya-Lara, Elazığ ve Samsun-Bafra arıtma amurlarının olup, C/N oranı sırasıyla 13,50, 13,47 ve

12,44'dür. Denemede kullanılan diğer arıtma çamurlarının C/N oranları ise 7,07-8,57 değerleri arasındadır.

Çamurların pH içeriklerine bakıldığında OM'nin tersi durum söz konusu olup, en düşük pH'ya İzmir-Çiğli çamuru (6,48), en yüksek pH değerine ise Ankara-Tatlar çamuru (8,65) sahiptir. Tuzluluk bakımından çamurlar değerlendirildiğinde, en düşük EC değeri Elazığ (0,285 dS/m) en yüksek EC değeri ise Ankara-Tatlar (0,895 dS/m) çamurunda belirlenmiştir. Sature ortam ekstraktında 2-4 dS.m⁻¹ arasındaki EC değerleri organik materyaller için en uygun değerler olarak kabul edilmektedir (Kirven, 1986). Araştırmada kullanılan bütün arıtma çamuru materyallerinin tuz kapsamı bu değerlerden düşük bulunmuştur.

3.2.1.1 İnkübasyon Denemesi konuları

- A: Kontrol (çamur uygulanmamış)
- B: 2 t.da⁻¹ çamur (% 1) uygulanmış
- C: 4 t.da⁻¹ çamur (% 2) uygulanmış
- D: 8 t.da⁻¹ çamur (% 4) uygulanmış

Çamur dozlarının belirlenmesinde fazla miktarda arıtma çamuru uygulamasının ekonomik olmayacağı gibi toprağın sürdürülebilirliği açısından olumsuz etkide bulunabileceği göz önüne alınmış ve maksimum çamur dozu 8 tonda⁻¹ olarak belirlenmiştir. Denemede kullanılacak arıtma çamurlarının metal ve tuz içerikleri sınır değerlerin altında olmasına rağmen yüksek dozlarda sürekli uygulanması toprakta tuz ve ağır metal birikimine yol açabileceği daha önce yapılan çalışmalar ile belirtilmiştir. Bu nedenle toprağa uygulanabilecek en yüksek doz 8 tonda⁻¹ 'ı geçmemelidir.

İnkübasyon denemesinde içerisine 250 g toprak konulan plastik kaplara, yukarıdaki dozlarda arıtma çamurları hesaplanarak eklenmiştir. Her bir bölgeden alınan toprak kendi bölgesinden gelen çamur örnekleri ile karıştırılmıştır. Çamur ve toprak örneklerinin karıştırılması işleminden önce nem içerikleri belirlenmiş ve çamur örnekleri fırın kuru toprak üzerinden hesaplanarak tartılmıştır. Gerçekleştirilen çamur

uygulama dozlarının etkileri 1. , 60. ve 120. gün basamaklarını içeren bir inkübasyon sürecinde 3 kez değerlendirileceğinden ve her değerlendirme 3 tekrarlı olacağından dolayı farklı uygulama kuvvetlerindeki topraklar 250 g'lık porsiyonlar halinde uygulama ve inkübasyon düzenine göre etiketlenmiş olan saksılara bölünmüştür. İnkübasyona alınan saksı sayıları çizelge 3.5'de, toprak örneklerinin analize hazırlanması ve inkübasyon denemesinin kurulmasına ait fotoğraflar şekil 3.1 - 3.2'de verilmiştir.

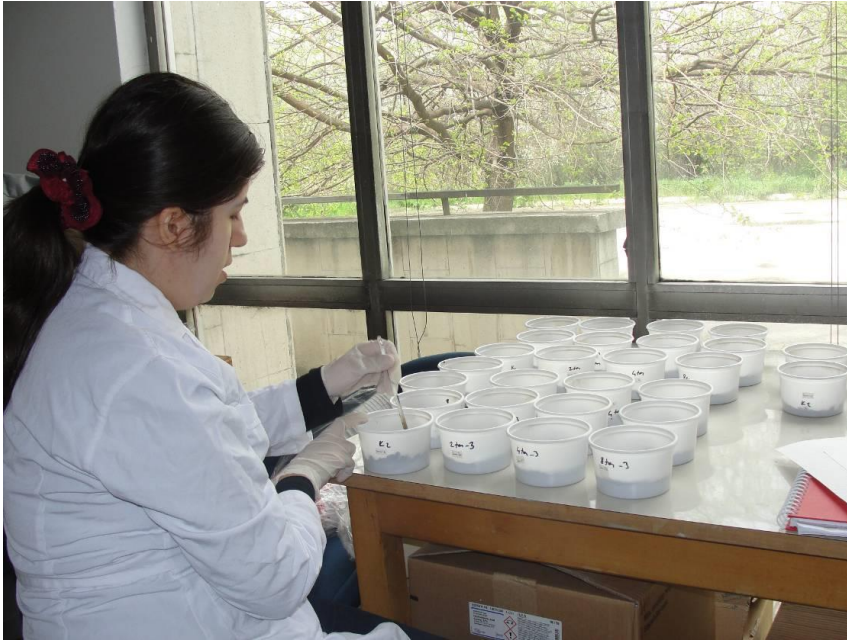
Çamur ve toprak homojen olacak şekilde karıştırıldıktan sonra saksılar tarla kapasitelerinin %70'i oranında nemlendirilerek ağızları kapatılmış, hava alması için delikler açılarak 28 C°'ye ayarlı inkübatöre yerleştirilmiştir. İnkübasyonun başlangıç örnekleme çamurların toprağa karıştırılmasından 1 hafta sonra yapılmıştır. Deneme süresince kaplardaki nemin sabit kalması için gereken işlemler yapılmış ve inkübasyonun 60. ve 120. günlerinde de toprak örneklemleri tekrarlanarak inkübasyon denemesi sonlandırılmıştır. Her örnekleme döneminde yeni bir saksı grubu kullanılmış ve bozulan saksılarda kalan topraklar bozdolabı koşullarında (+4 °C) muhafaza edilmiştir.

Çizelge 3.5 İnkübasyona alınan örnek sayısı bilgileri

Uygulama sayısı	4 doz
Toprak sayısı	9
120 Günlük gözlem aralığındaki Ölçüm sayısı (başlangıç, 60-120. günler olmak üzere)	3
Tek bir uygulama için tekrarlanan analiz sayısı (tekerrür sayısı)	3
TOPLAM ÖRNEK (saksı) SAYISI	4 x 9 x 3 x 3 = 324



Şekil 3.1 Toprak örneklerinin analize hazırlanması



Şekil 3.2 Toprak örnekleri ile inkübasyon denemesinin kurulması

3.2.2 Sera denemesinin kurulması

İnkübasyon denemesinde toprağa uygulanan arıtma çamuru dozlarının aynısı sera denemesinde uygulamaya alınmıştır (2, 4 ve 8 tonda⁻¹). Ayrıca ek olarak biri arıtma çamuru uygulanmayıp Orta Anadolu Bölgesi Susuz Tarım Sistemine uygun tür ve miktarda ticari gübrelerin kullanılarak arıtma çamuru ile kıyaslanacağı, diğeri ise hiçbir girdinin verilmeyeceği kontrol saksısı olacak şekilde iki saksı daha oluşturulmuş, böylece toplam sera denemesi konusu 5 olmuştur. Her uygulama için 4 adet tekerrür oluşturulmuştur. Sera denemesine alınan toplam saksı sayısı (3 çamur x 5 uygulama konusu x 4 tekerrür= 60) adettir.

Sera denemesi Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü serasında yürütülmüştür. Denemede plastik saksılara kuru ağırlık esasına göre 4 kg toprak üzerine yukarıda belirtilen dozlarda arıtma çamuru uygulanmıştır. 60 saksıda yürütülen denemede arıtma çamuru havada kuru hale getirildikten sonra her saksı için ayrı ayrı tartılarak saksı toprağına karıştırılmıştır. Saksılar tarla kapasitesinin %70'i düzeyinde sulandıktan sonra sera koşullarında 1 hafta inkübasyona bırakılmış, bu sürenin sonunda her saksıya 20 adet buğday tohumu (Tosun bey) 6 cm derinliğe ekilmiştir. Ekim sonrası bitkinin çimlenmesine yetecek kadar saksılara su verilerek (can suyu) saksıların üzeri hava alacak şekilde kapatılarak ani kurumaları önlenmiş, bitkilerin çimlenmesi başlayınca saksıların örtüleri tamamen alınmıştır. Her gün sera şartları ve saksıların nem miktarları kontrol edilerek saksı topraklarının tarla kapasitesinde kalmaları sağlanmıştır. Çimlenmeden itibaren her saksı tek tek izlenerek her saksıda 15 bitki (ağır metal analizine yetecek miktarda bitki elde edebilmek amacıyla) bırakılmıştır. Çamur uygulanan saksılara bitkinin azot ihtiyacının karşılanması amacıyla ilgili saksılara amonyum nitrat gübresi verilmiştir. Her gün kontrol edilen bitkilerde zaman zaman saksıların sera içinde konumları değiştirilerek seranın yer-yöney etkisi ortadan kaldırılmıştır. Sera denemesinin kurulmasından 8 haftalık vejetasyon dönemi sonunda toprağı en yakın dip kısımlarından hasat edilerek, saf su ile yıkanarak sabit ağırlığa gelinceye kadar 70 °C' de kurutularak toprak üstü organ ve kök kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Bitkiler çelik bıçaklı bilender ile öğütülerek analize hazır hale getirilip azot ve ağır metal içerikleri belirlenmiş, ayrıca sera saksı toprakları 2 mm'den elenerek

inkübasyon denemesinde yapılan analizlerin aynısı sera denemesi topraklarında yapılmıştır. Sera denemesinin kurulmasına ait fotoğraf şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3 Sera denemesinin kurulması

3.3 Tarla denemesi

Sera denemesinin başlatılmasını takiben, kontrollü koşullar dışında arazi koşullarında çamurun toprak ve bitki üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amacıyla tarla denemesi kurulmuştur. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik sınır değerlerinin altında kaldığı tespit edilen Ankara ASKİ arıtma çamurunun İç Anadolu Bölgesi topraklarında buğday bitkisi üretiminde kullanılıp kullanılamayacağının araştırılması amacıyla 2010-2011 ekim döneminde Polatlı Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü arazisinde tarla denemesi başlatılmıştır.

3.3.1 Deneme yeri konumu

Deneme Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne (TİGEM) bağlı Polatlı Tarım İşletmesi'nde yürütülmüştür. Polatlı Tarım İşletmesi 39° 30' 00'' ile 39° 00' 00'' doğu enlemleri ve 32° 00' 00'' ile 32° 30' 00'' kuzey boylamları arasında yer almaktadır.

3.3.2 Deneme yeri toprak özellikleri

Tarla denemesi Beyazbayır serisi diye adlandırılan alanda kurulmuştur. Beyazbayır serisine ait topraklar neojen yaşlı yükseltilerde dolgu ana materyali üzerinde orta eğimli bir topoğrafyaya sahip derin topraklardır. Profilde 110 cm derinlikte 1-2 cm' lik kil bantları görülmektedir. Bu da çok derin kök gelişimi gösteren bitkiler dışında ideal görülmektedir. Toprak profili Dr. Derya Sürek ve proje ekibi tarafından TAGEM projesi kapsamında tanımlanmıştır. Toprak profilinin fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 3.6'da verilmiştir.

3.3.3 Morfolojik özellikleri

Ap horizonu (0-13 cm), donuk kahverengi (7.5 YR5/4) yaş, donuk turuncu (7.5 YR7/3) kuru, kil, orta zayıf granüler, hafif sert, dağılgan, yapışkan, az plastic, orta kireçli, yoğun saçak kök, geçişli dalgali sınırdır.

Ad horizonu (13-27 cm), donuk kahverengi (7.5YR5/4) yaş, kil, massif, sert dağılgan, plastik yapışkan, orta kireçli, orta yoğun saçak kök, seyrek kireç miselleri, seyrek biyolojik aktivite, geçişli dalgali sınırdır.

Bw horizonu (27-40 cm), turuncu (7.5YR3/3) yaş, kil, zayıf zayıf prizmatik, sert, dağılgan, yapışkan, plastic, orta kireçli, orta yoğun saçak kök, seyrek kireç miselleri, seyrek biyolojik aktivite, geçişli dalgali sınırdır.

Bk horizonu (40-56 cm), kahverengi (10YR4/4) yaş, kil, orta orta prizmatik, sert, sıkı, yapışkan, plastic, orta kireç, seyrek ince saçak kök, orta yaygın kireç cepleri, geçişli dalgalı sınır.

Bk2 horizonu (56-89 cm), donuk sarımsı kahverengi (10YR5/3) yaş, kil, orta prizmatik, sert, sıkı, plastik, yapışkan, orta kireç, çok seyrek ince kök, 1-2 cm'lik kireç cepleri, belirgin dalgalı sınır.

BC horizonu (89-110 cm), donuk sarı turuncu (10YR6/3) yaş, kil, zayıf orta prizmatik, sert, dağılgan, plastik, yapışkan, orta kireç, çok seyrek ince kök, çok seyrek 0.5 cm'lik kireç miselleri, belirgin dalgalı sınır.

2 C horizonu (110-150 cm) parlak sarı kahverengi (10YR7/6) yaş, kil, massif, sert, dağılgan, az yapışkan, az plastic, az kireçli, 1-2 cm kırmızı benekli kil bantları, belirgin dalgalı sınır.

Çizelge 3.6 Beyazbayır serisi toprak profilinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Bünye	Derinlik (cm)	pH (1:1)	Tuz (%)	KDK (me/100g)	Değişebilir Katyonlar (me/100 g)			Kireç (%)	Org. Mad (%)	Tane İrilik Dağılımı (%)			Bünye
					Na+	K+	Ca++ + Mg++			Kum	Silt	Kil	
Ap	0-14	7.52	0.070	47.78	0.05	1.28	46.44	6.50	1.57	16.0	32.8	51.2	C
Ad	14-26	7.63	0.060	43.44	0.05	0.89	42.49	6.70	1.41	16.6	35.4	48.0	C
Bw1	26-42	7.66	0.065	44.52	0.05	0.44	44.03	10.6	0.45	18.1	25.1	56.8	C
Bw2	42-60	7.57	0.060	48.87	0.05	0.38	48.44	15.2	0.96	13.7	28.9	57.4	C
Bk	60-83	7.41	0.050	38.01	0.10	0.38	37.53	22.8	0.48	15.8	26.0	58.2	C
Ck	83-100	7.61	0.035	26.46	0.21	0.25	26.00	53.9	0.32	14.0	32.1	53.9	SCL
C2	100-150	7.92	0.025	14.13	0.24	0.16	13.73	52.2	0.32	14.6	58.2	27.2	SCL

C= Killi, SCL: Kumlu killi tın

3.3.4 İklim özellikleri

Denemenin yürütüldüğü alan karasal iklim özelliklerini taşımakta olup, 1999-2012 yılları arası toplam ve ekilişe düşen yağış miktarları çizelge 3.7'de verilmiştir. Buna

göre, Orta Anadolu Bölgesinde buğday tarımında en önemli iklim koşullarından olan yağış miktarının aylara göre dağılımı incelendiğinde Ocak ayında uzun yıllar ortalamasının oldukça üzerinde seyretmiş olmasına rağmen, nisan ayında uzun yıllar ortalamasının altında, ancak diğer aylar uzun yıllarda ortalamasına eşdeğer denebilecek seviyede yağış alınmıştır.

Tüm dünyada son yıllarda yaşanan iklimdeki ekstrem değişimler nedeniyle tarımsal üretimde önemli dalgalanmalar görülmüştür. Türkiye genelinde kuraklıktan dolayı kayıplar yaşanırken, 2011-2012 yetiştirme yılında bölgesel kuraklık, sel ve taşkınlar ile dolu zararları yaşanmıştır.

Çizelge 3.7 Polatlı Tarım İşletmesi Müdürlüğü 1999-2012 yılları arası toplam ve ekilişe düşen yağış miktarları (Kaynak: Polatlı TİGEM Aylık Klimatoloji Rasat Cetveli)

AYLAR YILLAR	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	TOPLAM (mm)	EKİLİŞ ÜZERİNE DÜŞEN YAĞIŞ (mm)
1999	15,2	34,7	45,1	28,7	0,0	45,4	110,5	42,7	4,0	22,4	18,9	12,4	380,0	286,7
2000	49,5	32,0	24,6	84,6	23,8	28,5	0,0	2,9	5,9	21,0	7,6	26,2	306,6	300,7
2001	1,1	12,6	22,1	17,5	31,4	0,0	0,0	23,2	8,4	0,0	56,4	87,4	260,1	145,4
2002	48,0	11,5	21,9	45,2	16,3	17,7	22,3	0,0	30,2	9,2	17,2	42,5	282,0	312,8
2003	34,2	49,4	24,7	50,6	23,6	3,0	0,0	0,0	20,3	19,7	2,2	50,3	278,0	284,6
2004	28,6	17,8	18,4	35,9	36,6	15,8	16,6	2,9	0,0	6,8	35,2	11,5	226,1	245,6
2005	14,3	8,9	61,5	91,5	42,2	21,1	21,0	0,0	10,5	27,5	70,0	15,8	384,3	293,0
2006	38,0	46,5	9,5	29,3	19,5	32,6	9,4	16,3	34,6	75,3	12,2	2,4	325,6	299,2
2007	32,7	30,4	35,6	17,2	17,7	16,3	1,8	0,0	0,0	8,8	66,7	52,3	279,5	274,4
2008	9,7	30,2	21,7	24,1	6,5	5,6	0,0	0,0	27,3	13,5	24,0	38,0	200,6	225,6
2009	32,2	56,9	43,0	49,6	46,0	7,5	3,0	0,0	10,3	35,7	23,8	34,5	342,5	338,0
2010	55,2	24,0	31,8	35,5	44,0	31,8	2,5	0,0	1,0	71,0	10,6	65,6	373,0	385,5
2011	28,0	21,7	39,1	28,2	70,3	50,0	6,0	0,0	0,0	44,0	0,0	22,0	309,3	280,7
2012	96,0	32,0	35,0	5,0	46,7	0,0	0,0	0,0					214,7	
10 yıl ORT.	32,6	32,3	32,7	46,3	28,0	20,5	17,0	8,0	13,9	28,3	31,3	39,9	330,8	308,3

3.3.5 Parselasyon ve Toprak Hazırlığı

Çamur uygulaması öncesinde parseller uygun sürüm işlemleri ile homojenize edilmiş ve parselasyon yapılmıştır. Parselasyon sırasında farklı uygulamalara alınan parseller tesadüf blokları deneme desenine göre 4 tekerrürlü ve 8 uygulama konulu (çizelge 3.8) olarak bir yıl süreli kurulmuştur. Parseller 5m x 2m boyutlarında, bloklar arası ve parseller arası 1,5 m boşluklar bırakılarak, parsellere 6 sıra ekim yapılmıştır (Şekil 3.4). Tarla denemesi deseni, denemenin kurulduğu toprağa (0-20 cm derinlik) ve tarla denemesinde kullanılan arıtma çamuruna ait analiz sonuçları çizelge 3.9 - 3.10'da, Tarla denemesi parselasyon hazırlığına ait görüntüler şekil 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Deneme deseni (Polatlı TİGEM)

IV. Tekerrür	C	H	D	E	F	B	A	G
III. Tekerrür	H	F	E	B	G	A	D	C
II. Tekerrür	E	B	A	G	D	F	C	H
I. Tekerrür	D	C	G	F	H	B	E	A

Tekerrürler arası 1,5 m boşluk, parsel eni 2 m, boyu 5 m = 10 m² parsel büyüklüğü

Çizelge 3.9 Tarla denemesinde kullanılan toprak örneğinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprağın adı	% Kil	% Silt	% Kum	Tekstür Sınıfı	Tarla Kapasitesi %	pH	EC dSm ⁻¹	OM %	Kireç %	Toplam N%	Yarayışlı P ₂ O ₅ Mgkg ⁻¹	KDK me100 g ⁻¹
Polatlı	51,2	32,8	16,0	Killi	29,33	7,60	0,060	1,57	6,50	0,038	12,13	43,44

Çizelge 3.9 Tarla denemesinde kullanılan toprak örneğinin elementsel içerikleri (mgkg⁻¹) (devam)

Toprağın adı	Cd (ppb)	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Polatlı	138	15,87	17,50	37,40	25	61,02

Çizelge 3.9 Tarla denemesinde kullanılan toprak örneğinin alınabilir ağır metal içerikleri (mgkg⁻¹) (devam)

Toprağın adı	DTPA Zn	DTPA Pb	DTPA Cd	DTPA Ni	DTPA Cr	DTPA Cu
Polatlı	-	2,507	0,975	0,382	-	1,315

Çizelge 3.10 Tarla denemesinde kullanılan arıtma çamurunun kimyasal içerikleri

Arıtma çamuru	TKM %	TOM %	Nem %	pH	EC dSm ⁻¹	Alınabilir P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	Toplam N %	NH ₄ -N %	Organik azot %	NO ₃ -N
Ankara-Tatlar	30,5	44,93	5,66	8,65	0,895	141,25	2,62	0,18	2,42	0,02

Çizelge 3.10 Tarla denemesinde kullanılan arıtma çamurunun elementsel içerikleri (mgkg⁻¹) (devam)

Arıtma çamuru	Ba	Cd	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	As	Hg	Se	Sb
Ankara-Tatlar	69,95	1,20	53,60	61,4	<0,01	22,17	9,20	644,60	10,27	<0,005	6,004	<0,01

3.3.6 Denemede kullanılan bitki materyali

Denemede, Orta Anadolu Bölgesi taban ve yarı taban alanları için TARM'ın (Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü) geliştirdiği Tosunbey ekmeklik buğday çeşidi materyal olarak kullanılmıştır.

Buğday (Tosunbey): Kılçıklı ve beyaz başaklı, beyaz tanelidir. Alternatif gelişme tabiatlı, soğuğa, kurağa ve yatmaya dayanıklı, gübreye tepkisi iyi olan bir çeşittir. 1000 tane ağırlığı 28-35 gr, hektolitre ağırlığı 79-80 kg, sedimentasyon 50-66,3, protein oranı %13-14 yumuşama değeri 55-80 ve ekmeklik kalitesi olarak 1. sınıfta yer almaktadır. Sarı ve kara pasa dayanıklıdır. İç Anadolu ve Geçit bölgelerinin taban ve yarı taban alanlarına önerilir.

3.3.7 Arıtma çamurunun sağlanması ve deneme alanına uygulanması

Tarla denemesinde kullanılan arıtma çamuru Eylül 2011'de Ankara Merkezi Atıksu Arıtma Tesisinden temin edilmiştir. Arıtma çamuru tesisin uygun bir yerinde serilerek havada kurutulmuş ve uygun parça büyüklüğüne gelene kadar ufalanmış, çuvallanarak tarla denemesinin yürütüleceği Polatlı TİGEM deneme arazisine getirilerek hesaplanan miktarlarda kuru madde bazında tartılıp ilgili parsellere uygulanarak homojen bir şekilde toprağa karıştırılmıştır (Şekil 3.5 - 3.6).

Toprağa uygulanacak arıtma çamuru dozunun ne kadar olması gerektiği konusunda Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan çamur kullanım el kitabından yararlanılmıştır (Koenig vd. 2010). Bu konuda genel olarak izlenen yol, daha doğrusu toprağa ilave edilecek çamur miktarının belirlenmesinde bitkinin N ve P ihtiyacı dikkate alınmaktadır. Öncelikle toprağın alınabilir P miktarı (sodyum bikarbonatta ekstrakt edilen) belirlenir, bu miktar 50 mg/kg'dan az ise yetiştirilecek ürünün N ihtiyacına göre (agronomik miktar) doz ayarlaması yapılır, 50-100 mg/kg P var ise bitkinin topraktan kaldıracağı P miktarına bakılır, 100 mg/kg'dan fazla P var ise çamur uygulaması yapılmaz. Bu açıklamalar ışığında, kurduğumuz tarla denemesinde toprağın alınabilir P içeriği 12,13 mg/kg olduğundan, arıtma çamurunun amonyum azotu içeriğine göre ve

toprağın azot içeriği dikkate alınarak doz hesaplaması yapılmıştır. Agronomik N miktarının belirlenmesinde öncelikle, çamurun amonyum azotu, nitrat azotu, toplam azot ve organik azot miktarları (toplam N- inorganik N) belirlendi. Bitkinin yararlanabileceği N miktarının belirlenmesinde çamurun organik N içeriğinin %30'u ve amonyum azot içeriğinin %50'si kadarı hesaplanarak (Cogger vd. 2001) ilave edilecek çamur miktarları belirlenmiştir.

Çalışmada yetiştirilen buğday bitkisinin azot gereksinmesinin 8 kg/da olduğu düşünülerek, bu azotun tamamının kimyasal gübre (DAP+Amonyum nitrat) ile (B konusu), %50'si arıtma çamuru ile (C konusu), %100'ü arıtma çamuru ile (D konusu), %200'ü arıtma çamuru ile (E konusu) ve %400'ü arıtma çamuru ile (F konusu) karşılanmıştır. F konusunun temeldeki amacı ise yüklü miktarda çamur uygulamasında toprak veya bitkide ağır metal birikiminin olup olmadığını ortaya koyabilmektir. Ayrıca söz konusu azotun bir kısmının kimyasal gübre ile (amonyum nitrat) ve bir kısmının arıtma çamuru ile karşılandığı G ve H uygulama konuları bulunmaktadır. Buna göre G konusunda 4 kg/da N (arıtma çamuru azotu) + 4 kg/da N (amonyum nitrat azotu) uygulanmıştır. H konusunda ise 6 kg/da N (arıtma çamuru azotu) + 2 kg/da N (amonyum nitrat azotu) uygulanmıştır. G ve H uygulamalarında kimyasal azotlar üst gübreleme ile uygulanmıştır. Ayrıca herhangi bir uygulamanın yapılmadığı kontrol uygulaması da (A konusu) denemeye tabi tutulmuştur.

3.3.8 Uygulama konuları

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol

B: DAP (2,5 kg azot) + 5,5 kg kimyasal N (üst gübreleme olarak amonyum nitrat gübresi ile)

C: 4 kg/da azota denk çamur

D: 8 kg/da azota denk çamur

E: 16 kg/da azota denk çamur

F: 32 kg/da azota denk çamur

G: 4 kg/da azota denk çamur + 4 kg kimyasal N (üst gübreleme olarak amonyum nitrat gübresi ile)

H: 6 kg/da azota denk çamur + 2 kg kimyasal N (üst gübreleme olarak amonyum nitrat gübresi ile)

Buna göre deneme parsellerine uygulanan çamur dozları,

C: 490 kg/da,

D: 980 kg/da,

E: 1960 kg/da,

F: 3920 kg/da,

G: 490 kg/da,

H: 735 kg/da şeklinde olmuştur.



Şekil 3.4 Tarla denemesi parselasyon hazırlığı



Şekil 3.5 Çamurların tartılması



Şekil 3.6 Çamurların parsellere karıştırılması

3.3.9 Parsellerde hastalık ve zararlılara karşı ilaçlama ve üst gübreleme

Yabancı otlara karşı ilaçlama yapılması amacıyla araziye gidildiğinde herhangi bir yabancı ot büyümesi gözlenmemiş ve bu nedenle parsellere herhangi bir ilaçlama yapılmamıştır. İlgili parsellere Nisan 2012 tarihinde amonyum nitrat gübresi uygulanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Üst gübreleme



Şekil 3.8 Mayıs 2012 deneme parsellerinden görüntüler

3.3.10 Hasat

Tarla denemesi 08 Temmuz 2012 tarihinde parsel biçerdöveriyle (HEGE) buğday hasatı yapılmıştır. Hasatı yapılan her bir parselin en ve boy uzunlukları ayrı ayrı ölçülerek parseldeki verimlerin belirlenmesinde dikkate alınmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Bitki boyu ölçümleri ve buğday hasadı

3.3.11 Parsellerden alınan bitki örneklerinde verim kriterlerinin değerlendirilmesi

Verim kriterlerinin belirlenmesi amacıyla her parselden tesadüfî olarak 10 bitki örneği alınmış, laboratuvara getirilip değirmende öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Buğday bitkilerinin bitki boyu (cm) arazide her bir parselden tesadüfî seçilen 10 bitkide cetvel yardımıyla ölçülmüş ve ortalama değerleri alınmıştır. Buğday bitkisinin hasadından sonra verim ağırlıkları belirlenen buğday daneleri de laboratuvarında değirmenden öğütülerek analize hazır hale getirilmiştir. Hem bitki sapında hem de danede fosfor, azot, Cd, Ni, Cr, Pb, Cu ve Zn analizleri yapılmıştır.

3.3.12 Denemede yapılan analizler ve metotlar

Her örnekleme döneminde yeni bir saksı grubu kullanılmış ve bozulan saksılarda kalan topraklar bozdolabı koşullarında (+4) muhafaza edilmiştir. İnkübasyon süreleri sonrasında, inkübasyona alınan plastik kaplardan toprak örnekleri alınarak, toplam N, organik madde, alınabilir P₂O₅, değişebilir K₂O, KDK, pH, EC, toplam ve alınabilir Cd, Pb, Cu, Zn, Ni ve Cr tayinleri yapılmıştır

Toprak reaksiyonu (pH): Jackson (1962)'e göre toprak-su karışımında (1:2.5) cam elektrotlu pH-metre ile (Aritma çamurunda, 1: 5) ölçülerek belirlenmiştir.

Toprak tuzluluğu (EC₂₅, dSm⁻¹): Richards (1954)'e göre toprak-su karışımında (1:2.5) EC-metre ile (Aritma çamurunda, 1: 5) ölçülerek belirlenmiştir.

Toprak organik maddesi (OM, %): Jackson (1962)'e göre bir miktar toprak örneği porselen havanda ezilerek 0.2 mm'lik pirinç elekten geçirilmiş, yaş yakılmış organik C'ü bulunmuş ve OM'ye çevrilmiştir.

Toprak kireci (%): Richards (1954)'e göre Scheibler kalsimetresinde % 10 HCL ile tepkimeye giren CaCO₃'ün çıkardığı gaz hacmi esasına göre belirlenmiştir.

Toprak nemi tayini (%): U. S. Salinity Lab. Staff (1954)'e göre belirli bir miktar toprağın 105 °C'de sabit ağırlığa ulaşmasıyla uçurulan nemin hesabı şeklinde belirlenmiştir.

Toprak Katyon Değişim Kapasitesi (cmolk⁻¹): Chapman (1965)'e göre NaOAc (pH 8.2) ile doyurulan topraktan Amonyum asetat (pH 7) ile geri alınan Na'un Alevli Fotometrede ölçülmesi şeklinde belirlenmiştir.

Toprak Tekstürü (% Kum, Silt, Kil): Bouyoucous (1951)'e göre organik maddesi ve kireci giderilen örnekte hidrometre yardımı ile belirlenmiştir.

Toprakta toplam N (%): Bremner (1965a)'e göre Salisilik-Sülfirik asit karışımıyla yaş yakılan örnekler damıtma setinde damıtılmış borik asit-indikatör karışımına alınan örnekler H₂SO₄ ile titre edilmiştir.

Toprakta NH₃ ve NH₄ (mg l⁻¹): Bremner (1965b)'e göre taze toprak örneklerinden 2 M KCl ile çalkalanıp süzülen örneklerin destilasyonu ve titrasyonu ile belirlenmiştir.

Toprakta toplam Cd, Pb, Cu, Zn ve Ni (mg kg⁻¹): ISO/DIS (1994-1995)'e göre HNO₃ ve HCl (Kıral suyu 3:1) ortamında rodajlı balonlarda soğutmalı sistemli Hot Plate ile yaş yakılan 2 g toprak örnekleri süzülerek derecesine tamamlanmış ve doğrudan ISP-AES ve AAS ile okunmuştur.

Toprakta ekstrakte edilebilir Cd, Cu, Zn, Ni (mg kg⁻¹): Lindsay ve Norvell (1978)'e göre Diethylenetriaminepentaacetic Asit (DTPA) metoduna göre çalkalanıp süzülerek ekstrakte edilen örnekler doğrudan ISP-AES ve AAS ile okunmuştur.

Toprakta ekstrakte edilebilir Pb Belirlemesi (mg kg⁻¹): (John, 1972)'e göre 1 Normal NH₄OAc (Amonyum asetat) çözeltisi ile gerçekleştirilen toprak ekstraktında Pb, metilzobutilketon (MİBK) içerisinde ekstrakte edilmekte ve atomik absorpsiyon spektrofotometrede belirlenmiştir.

Bitkiye yarayışlı P (mg l^{-1}): Olsen vd. (1954)'e göre 0.5 M NaHCO_3 (pH 8.5) ile ekstrakte edilen P spektrofotometrik olarak belirlenmiştir.

Bitki boyu (cm): Yürür vd. (1981)'e göre kök boğazından son başakçık ucuna kadar (kılçıklar hariç) ölçülmüştür.

Verim (kg da^{-1}): Tosun ve Yurtman (1973)'e göre kenar tesir alanı sonrası net parsel veriminden hesap yoluyla (örneklemelerden gelen dahil) belirlenmiştir.

Bitkide Toplam N (%): Bremner (1965a)'e göre sap ve tane ayrı olarak çelik bıçaklı değirmende öğütülmüş yaş yakılmış damıtılmış ve titrasyonla belirlenmiştir.

Bitkide P (%): Olsen vd. (1982)'e göre öğütülmüş örnekler kuru yakılmış ve spektrofotometrik olarak belirlenmiştir.

Bitkide K (%): Jackson (1962)'a göre öğütülmüş örnekler kuru yakılmış ve fleymfotometrik olarak belirlenmiştir.

Ağır metaller sap ve tanede Cd, Pb, Cu, Zn ve Ni (mg kg^{-1}): Johnson ve Ulrich (1959)'e göre yaş yakma sonrası ISP-AES (Vista AX CCD Simultaneus) ile belirlenmiştir.

Ağır metallerin Biyolojik Alınabilirlik İndeksi (BAİ): Jarausch vd. (1999)'e göre elementlerin bitkideki konsantrasyonunun topraktaki konsantrasyonuna bölünmesiyle hesaplanmıştır.

Toprak Beta Glukosidaz Enzim Aktiviteleri: Naseby ve Lynch (1997)'e göre 1.5 g taze toprak örneği asit buffer çözeltisi eklendikten sonra korozer rotar'da 1 saat çalkalanıp, 15 dakika 4000 devrede santrifüj edildikten sonra, elde edilen ekstrakt tayini yapılacak asit enzimlerinin substratı ilave edilerek 400 nm'de Spektrofotometrik olarak belirlenmiştir.

Toprak Solunumu (CO₂ çıkış miktarı): Hoper (2006)'e göre 5 gr taze toprak tartılarak karbondioksit şişelerine konulur. Küçük tüplere 2.5 ml NaOH konulur ve kavanozların ağzı hava almayacak şekilde kapatılarak şişeler inkübatöre yerleştirilir. İnkübatör içerisinde 250C'de 4-6 saat inkübasyona terk edilir. Kontrol deneyi olarak 4-5 şişe içerisine toprak konmadan küçük tüplere 2,5 ml NaOH konularak topraklı koşullarda ve aynı sürede inkübasyona terk edilir. 100 ml'lik erlenmayerlerin içerisine 5 ml baryum klorit solüsyonu ilave edilir ve daha sonra da birkaç damla fenolftaleyn indikatörü ilave edilir. İnkübasyon sonunda inkübatörden çıkarılan şişelerin içindeki tüplerde bulunan NaOH bir erlenmayer içerisine çok hızlı bir şekilde boşaltılır. Erlenmayer içerisindeki karışım, HCl ile renk pembeden renksiz oluncaya kadar titrasyona tabi tutulur. Titrasyon sonunda harcanan 0.05 M HCl miktarı not edilir.

Mikrobiyal Biyokütle Karbonu (MBC): Toprak örneği elendikten ve homojenize edildikten sonra fırın kuru toprak bazında 30 g 'ma eşdeğer bir porsiyonu 15'şer gramlık iki porsiyona ayrılır ve fümige edilecek örnek cam petriye tartılır (petri kabı fümigasyon boyunca kloroformun etkin bir şekilde toprağa nüfuz edebileceği geniş bir yüzey alanı sağlar). Fümige edilmeyecek olan ikinci 15g'lık porsiyon ise sert plastik kavanoza alınır. Kavanoz ve petrideki örneklerin yüzeyi bir kauçuk tapa yardımıyla hafifçe kompakte edilerek düzleştirilir. Toprağın nemi su tutma kapasitesinin %50'sine getirilir. Kloroform fümigasyonunda test edilcek toprak örneği sayısına bağlı olarak büyüklüğüne karar verilen basınca dayanıklı, kalın camlı ve vakum bağlantısı olan desikatörler kullanılır. Önceden yıkanmış ve kurutulmuş desikatörün tabanına birkaç kat nemlendirilmiş kağıt peçete ya da küçük bir ıslak havlu serilir ve üzerine içinde saf su bulunan küçük bir cam kap ile yine içinde soda-kireci bulunan bir diğer cam kap konarak desikatörün seramik tablası yerleştirilir. Örnek hazırlığı aşaması süreci bittikten sonra cam petride bulunan toprak örneği ve içinde 25-50 ml etanolsüz kloroform ve bir kaç kaynam taşı bulunan bir beher toprak örneği ile birlikte dikkatlice desikatöre yerleştirilir. Fümigasyon boyunca kloroform buharı kaybı ve dışarıdan hava girişini önlemek için desikatörün traşlanmış olan ağız kısmı ve kapağına bir miktar vazelin sürülerek desikatör vakum edilmeye başlanır ve kloroform kaynama taşlarının yardımıyla gözle görünene dek devam edilir. Kloroform şiddetli bir şekilde kaynamaya başladıktan sonra 2 dakika daha vakuma devam edilir ve sonra desikatör vakum

kaynağından ayrılarak karanlık bir oda ya da inkübatör içinde 25 °C’de 24 saat süreyle inkübasyona alınır. 24 saatlik fümigasyon süresi tamamlandıktan sonra desikatörün hava giriş-çıkış vanası yavaşca açılarak kloroform gazının dışarı çıkması sağlanır. Desikatörün kapağı açık olarak kloroform dolu kap dışarı alınır ve desikatör tekrar kapanarak örneklerdeki alkol kokusu kaybolana dek desikatör birkaç kez vakum edilir. Fümigasyon sonrasında kloroform etkin bir şekilde uzaklaştırıldıktan sonra fümige edilmiş ve edilmemiş örnekler 250 ml’lik ekstrakt kaplarına aktarılır ve hemen 100 ml , 0,5 M K₂SO₄ ilave edilerek (toprak:ekstraktant oranı ¼ ,v/w) 30 dakika süreyle, 200 dkdevir⁻¹’de çalkalayıcıda (oscilltory) çalkalanır. Daha sonra toprak-K₂SO₄ süspansiyonu filtre kağıdından süzülerek (Whatman-42) sıfırın altındaki sıcaklıklara dayanıklı plastik saklama kaplarına ekstrakte edilir. Fümige edilmeyecek olan kontrol örneğinin ekstraksiyonu 24 saatlik fümigasyon devam ederken gerçekleştirilerek zaman tasarrufu sağlanabilir. Ekle edilen ekstraktlar istenilen biyokütle fraksiyonunun kantitatif analiz aşamasına kadar -15 °C de muhafaza edilir. Ekstraktlar Shimadzu TOC analiz cihazında okunur.

3.3.13 Değerlendirme ve istatistiksel analizler

Araştırma sonuçları, üzerinde durulan özellikler bakımından, tekrarlanan ölçümlü (repeated measurement) varyans analizi tekniği ile değerlendirilmiştir. Denemedeki faktörlerden arıtma çamuru faktörünün altı seviyesi ve gübreli ve gübresiz kontrol uygulamaları bulunmaktadır. Tekrarlanan ölçümler yıl faktörünün seviyelerinde yapılmış ve üçer tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Hesaplamalarda “SPSS 15.0”, “MSTAT” paket bilgisayar programları kullanılmıştır. Değerlendirmelerde Düzgüneş vd. (1987)’den yararlanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 İnkübasyon Denemesi Sonuçları

4.1.1 İnkübasyon denemesi topraklarının pH miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen pH değerleri çizelge 4.1’de verilmiştir. Her bir toprağı ayrı ayrı değerlendirecek olursak, Gaziantep toprağının pH değeri en yüksek çamur uygulamasında azalma göstermiş, Antalya-Lara ve İzmir-Çiğli toprağında artan çamur dozuyla beraber kontrole göre pH değerleri artmış, Karamürsel ve Samsun-Bafra topraklarında çamur ilavesi ile birlikte kontrol topraklarına göre pH değerlerinde istatistiki olarak önemli sayılacak azalma belirlenmiş, Elazığ topraklarının pH değerleri başlangıçta çamur uygulamasıyla beraber artış göstermiş ancak inkübasyonun 120. gününde en yüksek çamur uygulaması pH değerlerini düşürmüştür, Ankara, Yozgat ve Düzce topraklarında ise çamur uygulamasının pH üzerindeki etkisi istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların pH değerleri üzerine çamur uygulamalarının etkisinde çamurun pH değerinden ziyade toprağın kil ve KDK gibi özelliklerinin daha etkili olduğu görülmektedir. Şöyle ki pH değeri çok daha yüksek olan Ankara ve Yozgat çamurlarının uygulandığı topraklarda pH’nın doza bağlı değişimi olmazken, pH değeri çok daha düşük olan Antalya–Lara ve İzmir-Çiğli çamuru uygulamasında toprak pH’sı artış göstermiştir. Bu topraklarda dikkat çeken özellikler ise Ankara ve Yozgat topraklarının yüksek KDK’sine sahip, Antalya ve İzmir-Çiğli toprağının ise çok düşük KDK ve kil içeriğine sahip olmasıdır.

Genel olarak değerlendirmek gerekirse, inkübasyon periyodu süresince pH değerlerinde azalma eğilimi gösteren değişimler özellikle inkübasyonun 2. ayından sonraki dönemler için daha dikkat çekicidir. Ancak bu değişimlerin dozlar arası değerlendirmeleri genellikle önemsiz bulunmuştur ($P < 0.05$). Çamur dozlarının pH değişimi üzerine bir etki meydana getirmediği (en yüksek doz hariç) belirlenmiştir. Arıtma çamuru verilmesinin kontrole göre toprak pH’sı nda yaptığı önemli düşüş, arıtma çamurunun içerdiği organik maddeye ve dolayısıyla organik maddenin parçalanması ile oluşan organik asitlerin etkisi ile açıklanabilir. Kontrol örnekleri ile kıyaslama yapıldığında da

pH değişimlerinin çamur uygulamasından bağımsız olduğu ve inkübasyon esnasında oluşagelmekte olan metabolik faaliyetlere bağlı olabileceği düşünölebilmektedir. Atıkların ayrışması sırasında ortaya çıkan pH değişimleri, organik asitlerin oluşumuna, amonyak buharlaşmasına ve son dönemlerde de nitrifikasyona bağlı olarak ortaya çıkabilmektedir (Atchley ve Clark 1979).

Toprakların çoğunluğunda arıtma çamurunun 2 ve 4 t/da uygulama düzeyleri ile kontrol arasında pH değişimi açısından fark çıkmamıştır. Bu değişim, mineralizasyon süreci ile meydana gelen asitlik unsurlarının hem toprağın sahip olduğu yüksek tampon kapasitesi ile nötralizasyonu, hem de arıtma çamurunun sahip olduğu değişebilir iyonlarla tamponlanması ile açıklanabilir (Wong vd. 1996, Stamatiadis vd. 1999). Söz konusu tamponluk gücü sadece Elazığ ve Gazi Antep topraklarında 8 t/da uygulama düzeyi ile aşılmıştır.

4.1.2 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin EC miktarlarındaki değişimler

Bitki gelişmesini etkileyen tuzluluk miktarı, toprağın rutubet ve eriyebilir tuz kapsamalarının ikisine birden bağlıdır. Toprak çözeltisi genellikle toprağı doyurmaya kâfi bir miktar suyun toprakla karıştırılarak elde edilecek macunun süzölmesi ile elde edilir. Ancak bu çözeltinin elektrik akımını taşıma kabiliyetinden yararlanılarak tuzluluk kalitesi kolaylıkla ölçölür. Bu özelliğe elektriksel iletkenlik (EC) denilir ve milimhos/cm yada dS/m olarak ifade edilir.

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen EC değerleri çizelge 4.1'de verilmiştir. Denemeye alınan bölge topraklarının tamamında, artan düzeylerde çamur uygulamasının EC üzerindeki etkileri, beklenilebileceği gibi sistemin dengeye geldiği 1. aydan sonra homojen artışla kendini göstermektedir ($P<0.05$). Şüphesiz bu artış çamur materyalinin içermiş olduğu tuzlarla ilgili olup (Hargreaves vd. 2008) uygulanan doz arttıkça da bu etki belirginleşmektedir. Örneğin, Elazığ çamurunun EC değeri diğer çamurlara göre daha düşük olup, artan çamur uygulaması sonucunda Elazığ topraklarının EC değerleri diğer topraklardaki gibi artmış ancak bu artış çok yüksek değerlere ulaşmamıştır.

Yüksek dozda arıtma çamuru uygulanan toprakta yüksek olasılıkla metal tuzlarının oluşması nedeniyle (ağır metal ve organik madde kompleksi) en yüksek EC değeri tespit edilmiştir. Toprağa artan dozlarda arıtma çamuru ilavesiyle toprak tuzluluğunun arttığı pek çok araştırmacı tarafından belirtilirken (Moreno vd. 1997, Usman vd. 2004), bitki büyümesini sınırlayıcı faktörlerin başında toprak tuzluluğu gelmektedir (Richards 1960). Proje kapsamında elde edilen sonuçlara göre, G.Antep, Antalya-Lara ve kısmen Karamürsel topraklarında çamur ilavesi sonucu başlangıçta tuzsuz sınıfta olan topraklar hafif derecede tuzlu toprak sınıfına geçmiştir.

Denemenin yürütüldüğü her üç dönemin ortalaması dikkate alındığında, EC değerinde istatistiksel olarak bir artış saptanmışsa da, bu artış bitki yetiştiriciliği için kısıtlayıcı bir tuz stresi düzeyine ulaşmamıştır.

Araştırmada kullanılan bütün arıtma çamuru materyallerinin tuz kapsamı sınır değeri olan 2-4dS/m'den düşük olup tuzluluk açısından bir sorun teşkil etmemesine rağmen özellikle su bilançosu negatif olan bölge topraklarında sulu tarım uygulamalarında arıtma çamurunun kullanılmasında dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamakta yarar görülmektedir.

4.1.3 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin kireç miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen kireç değerleri çizelge 4.1'de verilmiştir. Denemeye alınan topraklardan Düzce, Çiğli, Karamürsel ve Bafra topraklarında kireç miktarı düşük ve orta düzeyde olup, diğer toprakların tamamında ise yüksek miktarda kireç bulunmaktadır. En yüksek kireç Lara topraklarında belirlenmiştir. Artan dozlarda çamur ilavesi denemeye alınan bölge topraklarının kireç kapsamı ve kireç içeriği sınıfında (Lindsay ve Norwell 1969) herhangi bir değişiklik yapmamıştır. Organik maddece zengin arıtma çamuru toprağa verildiğinde hızlanan mikrobiyolojik aktiviteden dolayı kök bölgesi pH'sını düşürerek ağır metallerin çözünürlüğü arttırabilir, ancak pH' sı yüksek ve kireç kapsamı fazla olan topraklarda ağır metallerin çözünürlükleri azalabilir.

Little vd. (1991) asit karakterli topraklarda (pH: 4.4-5.5) yetiştirilen mısır bitkisinin gelişmesi ve içeriğine, kireçle stabilize edilmiş ve kimyasal olarak fıkse edilmiş arıtma çamuru uygulamalarının etkisini belirlemek için yaptıkları sera çalışmasında, toprak pH'sını 6.5'e yükseltmek için artan oranlarda kireç uygulamışlardır. Araştırmacılar, kireçle stabilize edilmiş ve kimyasal olarak fıkse edilmiş arıtma çamuruna % 100 oranında kireç katıldığında maksimum bitki gelişiminin görüldüğünü ve katılan kireç miktarının daha da artırılması durumunda bitki gelişiminde azalma ve Zn noksanlığının ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Bir başka deyişle, toprakların pH'larının ve kireç miktarlarının yüksek olması ağır metal toksitesinin azalmasında etkili olabilir.

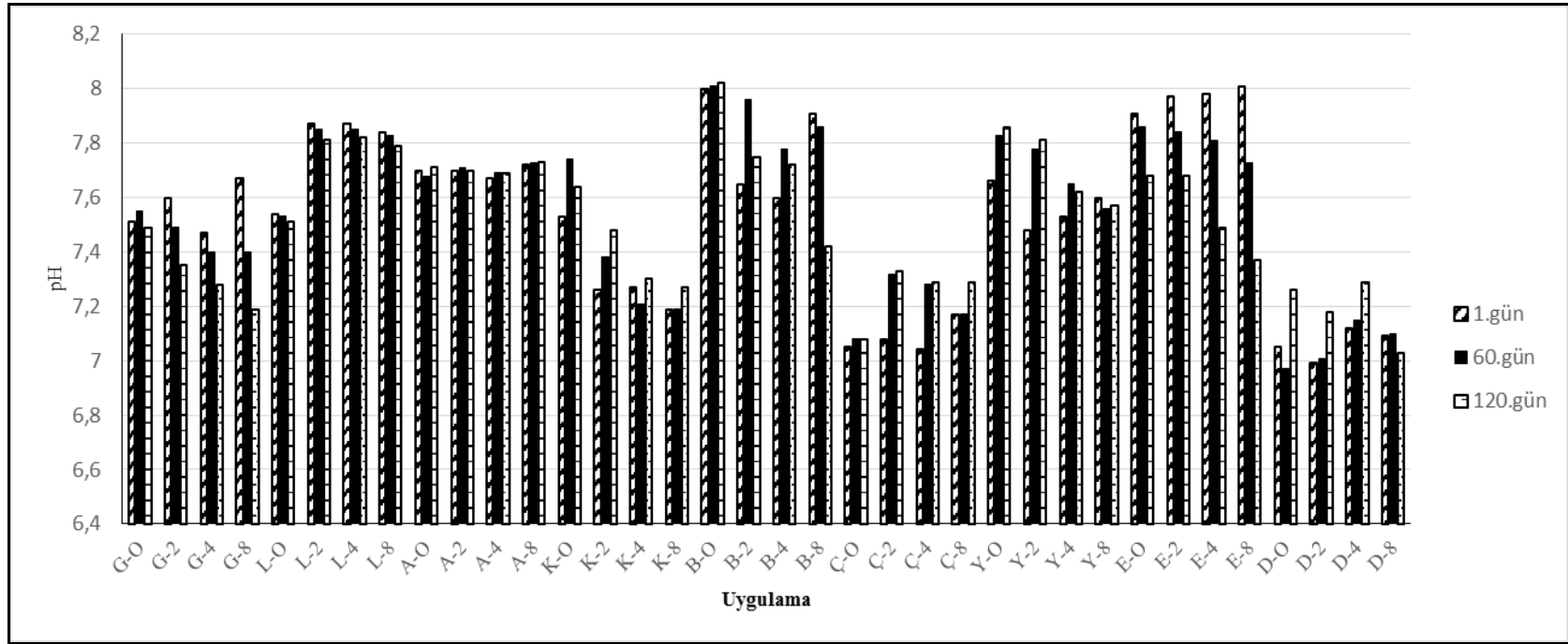
Çizelge 4.1 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprakların pH, EC ve kireç üzerine etkisi

Uygulama (ton/da)	pH			EC dS/m			Kireç %		
Zaman (gün)	1	60	120	1	60	120	1	60	120
Gaziantep-O	7,51AB	7,55 ÖD	7,49A	0,44 ÖD	0,48C	0,50C	23,92 ÖD	23,56 ÖD	23,63 ÖD
Gaziantep-2	7,60AB	7,49 ÖD	7,35AB	0,47 ÖD	1,37B	2,49B	23,29 ÖD	23,83 ÖD	23,33 ÖD
Gaziantep-4	7,47B	7,40 ÖD	7,28B	0,47 ÖD	1,80A	2,84B	23,19 ÖD	22,95 ÖD	23,30 ÖD
Gaziantep-8	7,67A	7,40 ÖD	7,19B	0,56 ÖD	1,97A	3,33A	24,00 ÖD	23,63 ÖD	22,86 ÖD
LSD> 0.05	0,166			0,413			1,428		
Lara-O	7,54B	7,53B	7,51B	0,45D	0,46D	0,44D	90,84 ÖD	90,16 ÖD	90,75A
Lara-2	7,87A	7,85A	7,81A	0,86C	0,89C	0,93C	89,65 ÖD	90,15 ÖD	88,71AB
Lara-4	7,87A	7,85A	7,82A	1,55B	1,76B	1,94B	94,55 ÖD	93,19 ÖD	95,76A
Lara-8	7,84A	7,83A	7,79A	2,34A	1,56A	3,12A	94,79 ÖD	95,13 ÖD	94,52A
LSD> 0.05	0,116			0,21			7,679		
Ankara-O	7,70 ÖD	7,68 ÖD	7,71 ÖD	0,19 ÖD	0,20D	0,23D	25,62 ÖD	25,80 ÖD	25,33 ÖD
Ankara-2	7,70 ÖD	7,71 ÖD	7,70 ÖD	0,25 ÖD	0,59C	0,68C	25,57 ÖD	25,29 ÖD	25,23 ÖD
Ankara-4	7,67 ÖD	7,69 ÖD	7,69 ÖD	0,30 ÖD	1,00B	1,28B	25,81 ÖD	25,10 ÖD	25,20 ÖD
Ankara-8	7,72ÖD	7,73 ÖD	7,729 ÖD	0,28 ÖD	1,66A	1,89A	25,52 ÖD	25,26 ÖD	25,46 ÖD
LSD> 0.05	0,171			0,258			0,994		
Karamürsel-O	7,53A	7,74A	7,64A	0,13D	0,17D	0,19C	2,57 ÖD	2,48 ÖD	2,55 ÖD
Karamürsel -2	7,26B	7,38B	7,48B	0,24C	0,61C	1,74B	2,57 ÖD	2,63 ÖD	2,46 ÖD
Karamürsel -4	7,27B	7,21C	7,3BC	0,33B	0,93B	1,77B	2,37 ÖD	2,45 ÖD	2,36 ÖD
Karamürsel -8	7,19B	7,19C	7,27C	0,45A	1,23A	2,49A	2,81 ÖD	2,64 ÖD	2,68 ÖD
LSD> 0.05	0,123			0,176			0,417		
Bafra-O	8,00A	8,01A	8,02A	0,13 ÖD	0,14C	0,14C	4,55 ÖD	4,38 ÖD	4,41 ÖD
Bafra-2	7,65B	7,96AB	7,75B	0,21 ÖD	0,41C	1,29B	4,39 ÖD	4,40 ÖD	4,36 ÖD
Bafra-4	7,60B	7,78B	7,72B	0,29 ÖD	0,81B	1,15B	4,39 ÖD	4,43 ÖD	4,40 ÖD

Çizelge 4.1 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprakların pH, EC ve kireç üzerine etkisi (devam)

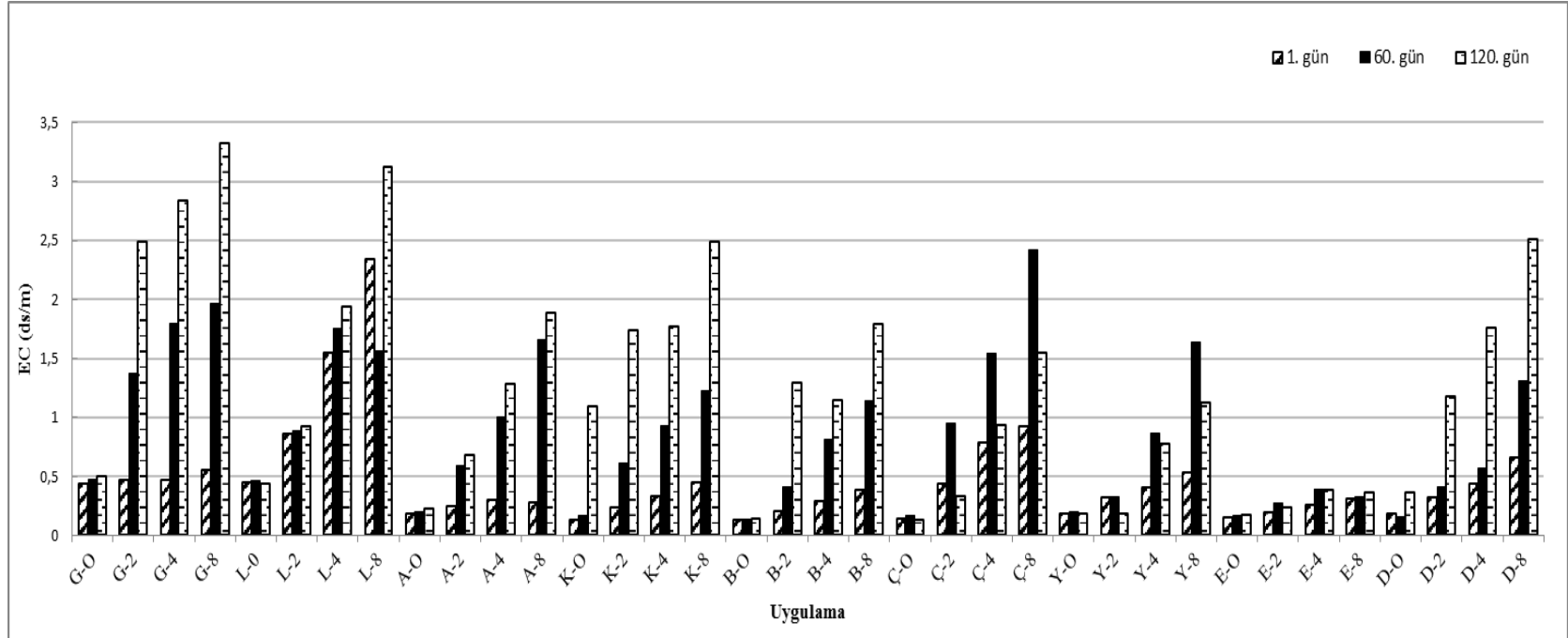
Bafra-8	7,91AB	7,86B	7,42C	0,39 ÖD	1,14A	1,79A	4,65 ÖD	4,48 ÖD	4,50 ÖD
LSD> 0.05	0,238			0,318			0,280		
Çiğli-O	7,05 ÖD	7,08B	7,08B	0,14D	0,17D	0,13D	4,27 ÖD	4,05BC	4,10B
Çiğli-2	7,08 ÖD	7,32A	7,33A	0,44C	0,95C	0,33C	4,39 ÖD	3,84C	4,25AB
Çiğli-4	7,04 ÖD	7,28A	7,29A	0,79B	1,54B	0,94B	4,41 ÖD	4,29AB	4,31AB
Çiğli-8	7,17 ÖD	7,17AB	7,29A	0,92A	2,42A	1,55A	4,57 ÖD	4,52A	4,51A
LSD> 0.05	0,178			0,092			0,359		
Yozgat-O	7,66 ÖD	7,83 ÖD	7,86A	0,19D	0,20D	0,18C	35,17 ÖD	34,09 ÖD	34,33 ÖD
Yozgat-2	7,48 ÖD	7,78 ÖD	7,81A	0,32C	0,33C	0,18C	34,16 ÖD	34,63 ÖD	34,33 ÖD
Yozgat-4	7,53 ÖD	7,65 ÖD	7,62AB	0,41B	0,87B	0,78B	34,74 ÖD	33,14 ÖD	34,20 ÖD
Yozgat-8	7,60 ÖD	7,56 ÖD	7,57AB	0,53A	1,64A	1,13A	34,43 ÖD	32,48 ÖD	32,26 ÖD
LSD> 0.05	0,256			0,073			1,306		
Elazığ-O	7,91B	7,86A	7,68A	0,15B	0,17B	0,17B	41,48 ÖD	41,66 ÖD	41,16 ÖD
Elazığ-2	7,97AB	7,84A	7,68B	0,20AB	0,28A	0,24A	41,48 ÖD	42,60 ÖD	41,76 ÖD
Elazığ-4	7,98AB	7,81A	7,49B	0,26A	0,39A	0,39A	41,39 ÖD	42,88 ÖD	42,53 ÖD
Elazığ-8	8,01A	7,73B	7,37C	0,31A	0,33A	0,36A	40,66 ÖD	42,65 ÖD	42,50 ÖD
LSD> 0.05	0,082			0,131			1,439		
Düzce-O	7,05 ÖD	6,97 ÖD	7,26 ÖD	0,19C	0,16D	0,26D	1,01 ÖD	1,03 ÖD	1,03 ÖD
Düzce-2	6,99 ÖD	7,01 ÖD	7,18 ÖD	0,32B	0,41C	1,18C	1,01 ÖD	0,98 ÖD	1,00 ÖD
Düzce-4	7,12 ÖD	7,15 ÖD	7,29 ÖD	0,44B	0,57B	1,76B	1,01 ÖD	0,95 ÖD	1,01 ÖD
Düzce-8	7,09 ÖD	7,10 ÖD	7,03 ÖD	0,66A	1,31A	2,51A	1,11 ÖD	1,01 ÖD	1,03 ÖD
LSD> 0.05	0,277			0,224			0,0783		

Çalışmada elde edilen sonuçlar ($P<0.05$) %95 güven aralığı için karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar Minitab programı ile yapılmış, sonuçlar ekte sunulmaktadır. Düşey kolonlardaki sayıların yanındaki harfler her bir doz arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir. Harf bir satırdan diğer komşu (düşey) satıra farklılaşma göstermezse, hesaplanan LSD seviyesinde aradaki farkın önemli olmadığı anlamını taşımaktadır. Harfin farklılaşması sonuçların LSD seviyesinde bir komşu satırdan farklı olduğunu ifade etmektedir. LSD: Least Significant Difference



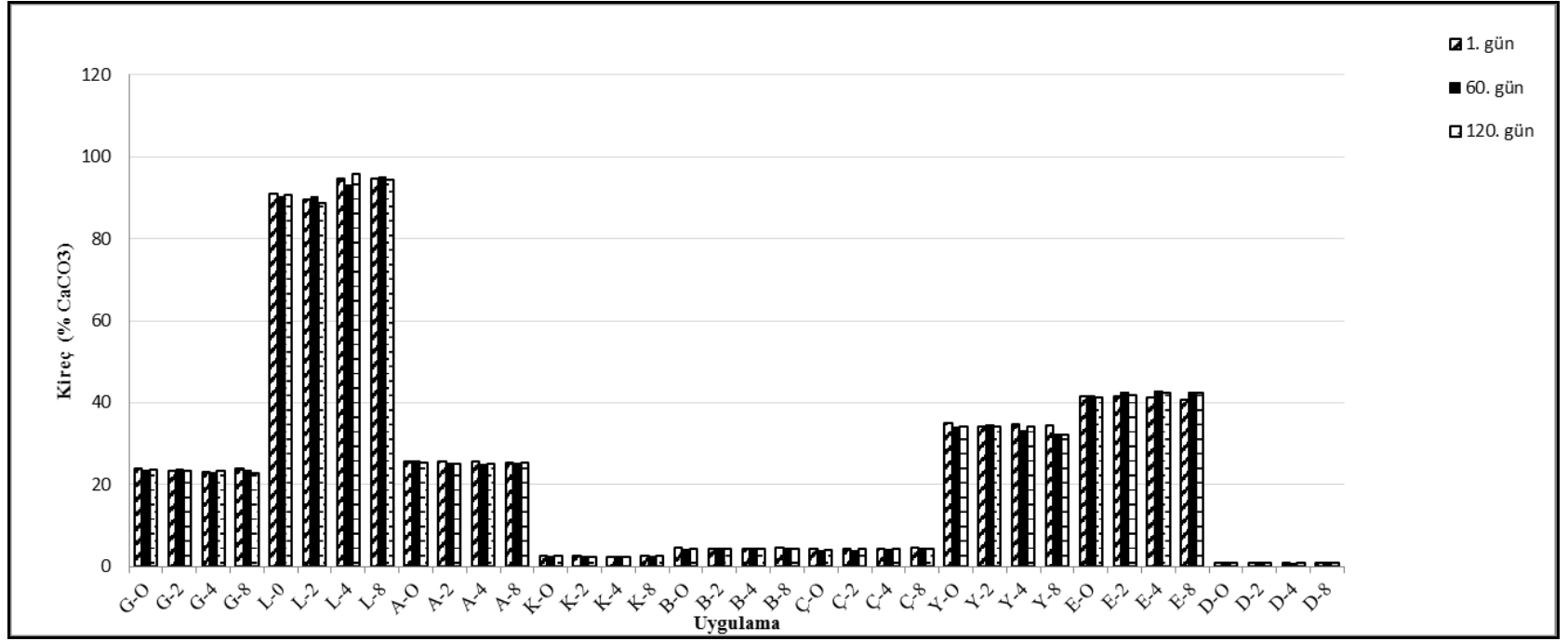
Şekil 4.1 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprak pH'sı üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da



Şekil 4.2 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprak EC'si üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da



Şekil 4.3 Arıtma çamuru uygulamalarının toprakların kireç kapsamı üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

4.1.4 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin organik madde (OM) miktarlarındaki değişimler

Toprakta olması gereken organik madde miktarının değeri % 3 olması gerekirken, Türkiye genelinde tarım topraklarının % 91.4'ü içerdiği organik madde açısından yetersizdir. Orta Anadolu topraklarının % 97'si, Güney Doğu Anadolu bölgesi topraklarının % 95.8'i, Göller yöresinin % 95'i, Doğu Anadolu topraklarının % 94.4'ü, Akdeniz bölgesi topraklarının % 93.1'i, Ege bölgesinde ise toprakların % 89.3'ü, Karadeniz bölgesini topraklarının da % 85.5'i, organik madde açısından yetersizdir. Proje kapsamında değerlendirmeye alınan toprak örnekleri organik madde kapsamı bakımından değerlendirilecek olursa, sadece Antalya-Lara toprağı organik madde bakımından yeterli düzeyde olup (%3,91) diğer topraklarda OM yetersiz durumdadır (Çizelge 4.2).

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen OM değerleri çizelge 4.2'de verilmiştir. Denemeye alınan toprakların tamamında arıtma çamuru ilavesi doza bağlı olarak organik madde miktarını artırmıştır. Toprak organik maddesindeki değişim, uygulanan arıtma çamuru doz artışına paralel olarak istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). Toprakların doza bağlı organik madde kapsamlarındaki artış, 3. İnkübasyon dönemine kadar devam etmiş, 3. İnkübasyon döneminde (120 gün) organik atığın mineralizasyonuna bağlı olarak azalmaya başlamıştır (Smernik vd. 2004).

Bütün topraklarda arıtma çamuru ilavesi ile toprak organik madde içeriğı sınıfı çok az düzeyden (%0-1) orta düzeye (%2-3) yükselmiştir (Lindsay ve Norwell 1969, Anonymous 1990). Aynı etki birçok araştırmacı tarafında da ortaya konmuştur (Albiach vd. 2001, Hernández-Apaolaza vd. 2005, Tsadilas vd. 2005, Cheng vd. 2007).

4.1.5 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin katyon değişim kapasitesi (KDK) değerlerindeki değişimler

etiştirme ortamının belirli bir biriminin tutabildiğı değişebilir katyonların mili eş değeri gram sayısına Katyon Değişim Kapasitesi (KDK) adı verilir. KDK bir toprağın

potansiyel olarak tutabileceği toplam besin elementi ile ilgili olarak bilgi sahibi olmamızı sağlar ve organik madde miktarının arttırılması toprakların katyon değişim kapasitelerinin arttırılmasına neden olur. Toprağın katyon değiştirme kapasitesi toprağın ağır metalleri bağlama yeteneğinin bir göstergesi olduğu için arıtma çamuru uygulanacak toprakların bu açıdan da incelenmesi gerekmektedir.

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen KDK değerleri çizelge 4.2’de verilmiştir. Denemeye alınan topraklardan Çiğli ve Lara topraklarının KDK değerleri düşük olup, diğer toprakların KDK değerleri yüksektir. Değişen düzeylerde arıtma çamuru ilavesi, Çiğli toprakları hariç tüm toprakların katyon değişim kapasitesini (KDK) istatistiksel olarak etkilemiş olup bu etki inkübasyon zamanına bağlı olarak değişiklik göstermiştir (Şekil 4.5). Arıtma çamuru uygulama düzeyine bağlı olarak toprakların KDK değerleri artış göstermiş, bu artış en fazla Düzce ve Ankara çamuru uygulanmış topraklarda belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Organik materyallerin toprak KDK’si üzerine sağladığı olumlu etki birçok araştırmacı tarafından da ortaya konulmuştur (Bergkvist vd. 2003, Antolín vd. 2005). Melo vd. (1994), Cavallaro vd. (1993), toprağa 24 ton/da arıtma çamuru ilavesinde KDK değerinin arttığını, bunun da organik maddenin iyon değişim kapasitesine sahip aktif yüzeye sahip olmasından kaynaklandığını, bu etkileşimde ise ortam pH’sının etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

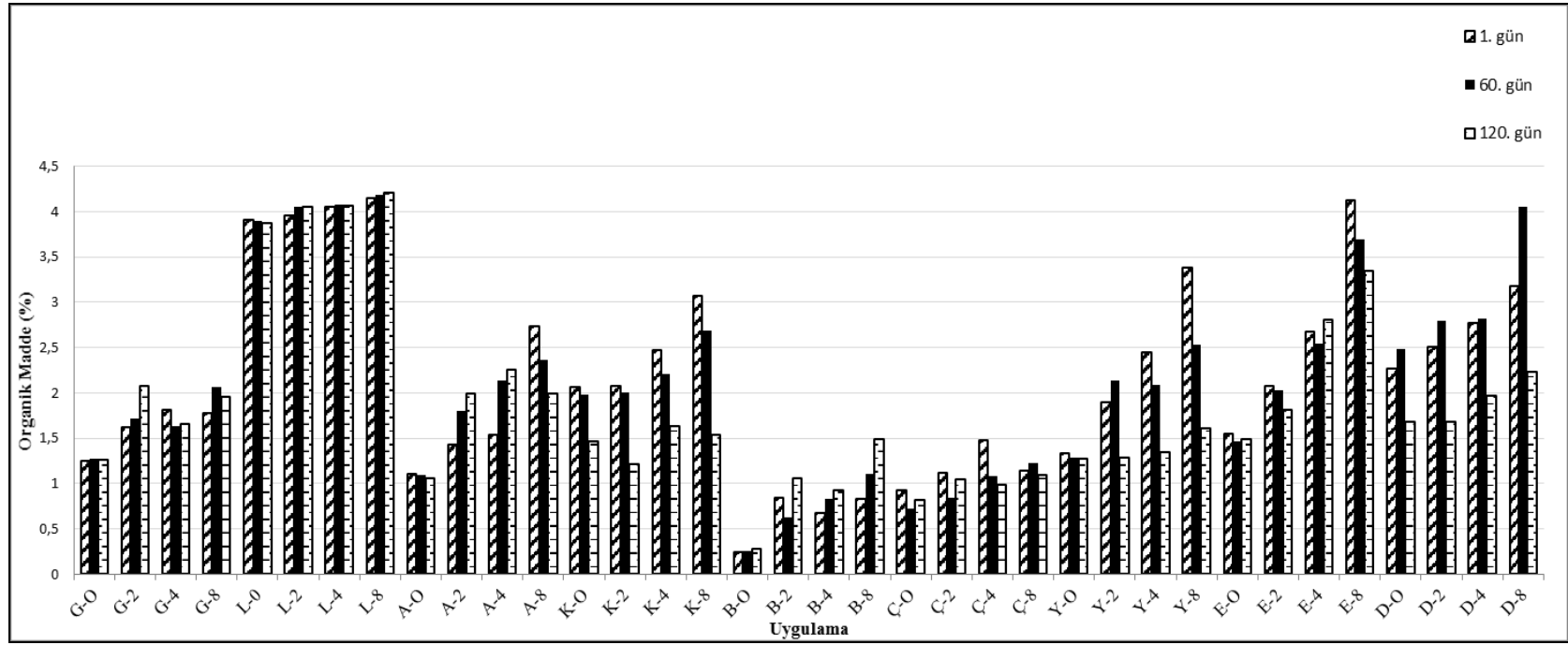
Çizelge 4.2 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprakların OM ve KDK üzerine etkisi

Uygulama	OM %			KDK me/100 g		
	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün
Gaziantep-O	1,25B	1,27C	1,26C	53,33B	53,75A	53,33B
Gaziantep-2	1,62A	1,72AB	2,08A	61,00A	58,65A	60,00A
Gaziantep-4	1,81A	1,63B	1,65B	65,83A	58,18A	59,66A
Gaziantep-8	1,78A	2,06A	1,96AB	61,81A	58,33A	59,00AB
LSD> 0.05	0,353			5,929		
Lara-O	3,91B	3,90B	3,87B	18,24 ÖD	18,28 ÖD	18,29 ÖD
Lara-2	3,96AB	4,05AB	4,05A	15,34 ÖD	16,01 ÖD	15,76 ÖD
Lara-4	4,05AB	4,08AB	4,07AB	15,14 ÖD	15,10 ÖD	15,00 ÖD
Lara-8	4,15A	4,19A	4,21A	14,73 ÖD	14,78 ÖD	14,37 ÖD
LSD> 0.05	0,066			3,536		
Ankara-O	1,10B	1,09C	1,06B	40,42D	41,32D	41,33D
Ankara-2	1,43B	1,80B	1,99A	40,74C	43,32C	43,33C
Ankara-4	1,54B	2,13A	2,25A	41,21B	53,88B	48,33B
Ankara-8	2,74A	2,36A	1,99A	44,68A	59,78A	63,33A
LSD> 0.05	0,459			0,0489		
Karamürsel-O	2,06B	1,98B	1,46 ÖD	53,52 ÖD	52,00 ÖD	52,66 ÖD
Karamürsel -2	2,08B	2,00B	1,21 ÖD	54,59 ÖD	57,31 ÖD	57,66 ÖD
Karamürsel -4	2,47B	2,21B	1,63 ÖD	53,64 ÖD	54,29 ÖD	55,20 ÖD
Karamürsel -8	3,07A	2,69A	1,54 ÖD	54,87 ÖD	56,53 ÖD	57,66 ÖD
LSD> 0.05	0,413			8,782		
Bafra-O	0,24B	0,25C	0,28C	45,76 ÖD	43,87 ÖD	43,63 ÖD
Bafra-2	0,84A	0,63B	1,06B	51,12 ÖD	44,93 ÖD	47,33 ÖD
Bafra-4	0,67A	0,83B	0,92B	44,91 ÖD	47,30 ÖD	46,33 ÖD
Bafra-8	0,83A	1,11A	1,49A	47,86 ÖD	45,07 ÖD	45,33 ÖD
LSD> 0.05	0,274			5,970		
Çiğli-O	0,93C	0,72B	0,82 ÖD	10,03B	10,47B	10,14B
Çiğli-2	1,12C	0,84B	1,05 ÖD	10,15B	11,51AB	11,49AB
Çiğli-4	2,48B	2,08A	0,98 ÖD	11,80A	11,67AB	11,80A
Çiğli-8	2,84A	2,23A	1,09 ÖD	11,24AB	12,20A	11,86A
LSD> 0.05	0,356			1,366		
Yozgat-O	1,33D	1,28C	1,27 ÖD	53,03AB	51,66AB	52,00AB
Yozgat-2	1,89C	2,13B	1,29 ÖD	52,39AB	50,66AB	50,66AB
Yozgat-4	2,45B	2,09B	1,34 ÖD	47,60B	47,03B	47,33B
Yozgat-8	3,38A	2,53A	1,61 ÖD	56,70A	56,99A	52,00A
LSD> 0.05	0,363			8,172		
Elazığ-O	1,55C	1,47C	1,49C	36,15 ÖD	34,33C	35,16B
Elazığ-2	2,08BC	2,03BC	1,81BC	37,19 ÖD	38,00B	38,00AB
Elazığ-4	2,67B	2,54B	2,81B	38,29 ÖD	37,33BC	37,66AB

Çizelge 4.2 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprakların OM ve KDK üzerine etkisi
(devam)

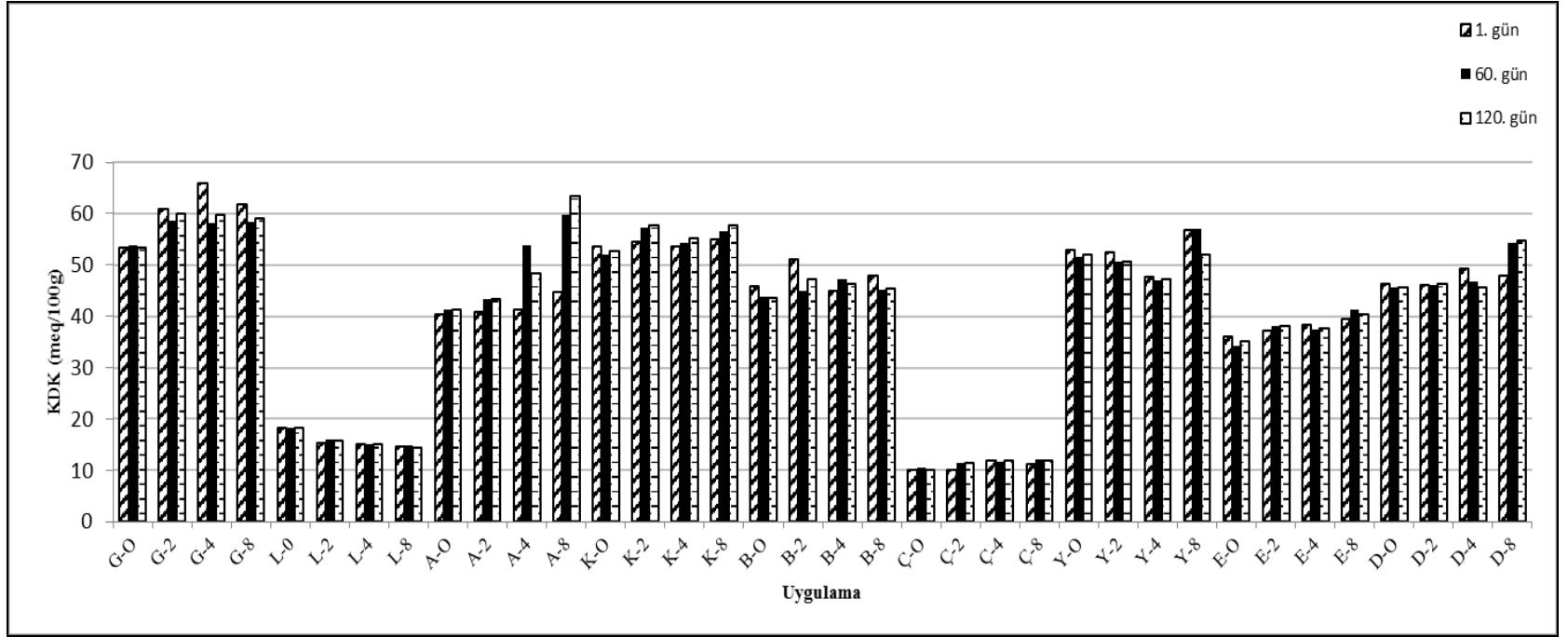
Elazığ-8	4,12A	3,69A	3,35A	39,50 ÖD	41,33A	40,50A
LSD> 0.05	0,643			3,26		
Düzce-O	2,27B	2,48B	1,68 ÖD	46,23 ÖD	45,53 ÖD	45,56 ÖD
Düzce-2	2,51AB	2,80B	1,68 ÖD	46,17 ÖD	46,00 ÖD	46,23 ÖD
Düzce-4	2,77AB	2,82B	1,97 ÖD	49,22 ÖD	46,66 ÖD	45,66 ÖD
Düzce-8	3,18A	4,05A	2,23 ÖD	47,94 ÖD	54,33 ÖD	54,66 ÖD
LSD> 0.05	0,773			12,36		

*Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);
LSD: Least Significant Difference*



Şekil 4.4 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprakların organik madde kapsamı üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da



Şekil 4.5 Arıtma çamuru uygulamalarının toprakların KDK değeri üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

4.1.6 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin azot (N) miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon denemesine alınan topraklar arasında en yüksek N Elazığ toprağında olup (%0,6) en düşük N ise Samsun-Bafra toprağında (%0,02) bulunmaktadır. Denemeye alınan arıtma çamuru örneklerinde ise toprağın aksine Elazığ çamuru diğer çamurlara göre en düşük N içeriğine sahip olup (%1,98), en yüksek N içeren çamur ise İzmir-Çiğli çamurudur (%4,52). İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen toplam azot (N) değerleri çizelge 4.3’de verilmiştir. Arıtma çamuru ilavesi ile toprak azot içeriğinde meydana gelen değişim, toprak organik madde içeriğinde sağlanan artış ile benzerlik göstermiştir. Tüm uygulama düzeyleri kontrol toprağına göre önemli düzeyde değişiklikler göstermiş olup en yüksek etki 8 t/da en düşük etki ise 2 t/da uygulamasında elde edilmiştir ($P<0.05$). Toplam azot içeriğinde meydana gelen bu artış, arıtma çamuru ilavesinden kaynaklanmıştır (Hernández-Apaolaza vd. 2005, Mantovi vd. 2005, Weber vd. 2007).

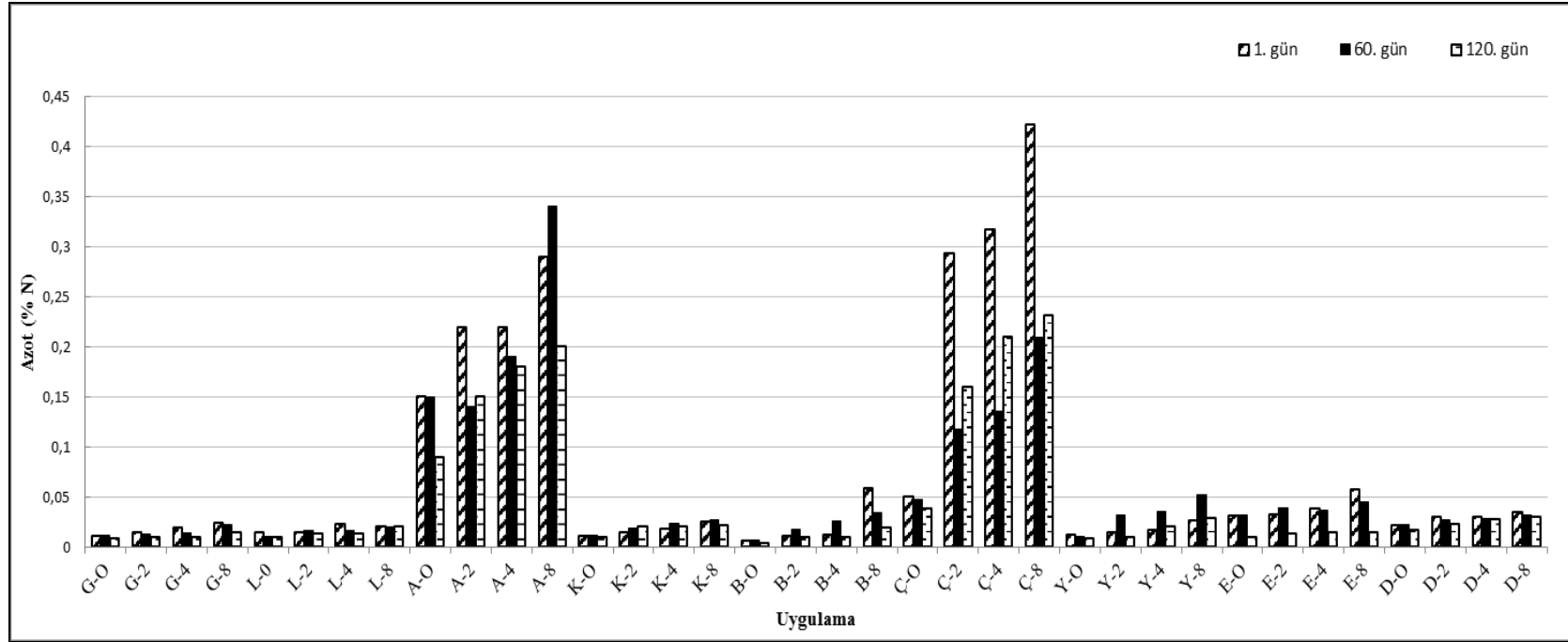
Çizelge 4.3 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların toplam ve amonyum-nitrat azotu etkisi

Uygulama (ton/da)	Toplam N %			NH ₄ -N ⁺ mg/kg			NO ₃ -N ⁻ mg/kg		
	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün
Gaziantep-O	0,011B	0,011B	0,008 ÖD	141D	74D	43D	91D	50D	24D
Gaziantep-2	0,015B	0,013B	0,010 ÖD	189C	104C	89C	103C	89C	45C
Gaziantep-4	0,019AB	0,014B	0,010 ÖD	266B	121B	93B	124B	91B	53B
Gaziantep-8	0,024A	0,022A	0,014 ÖD	317A	174A	97A	134A	108A	74A
LSD>0.05	0,0104			2,383			3,803		
Lara-O	0,015 ÖD	0,010 ÖD	0,010 ÖD	173D	109D	65D	83D	65C	29D
Lara-2	0,015 ÖD	0,016 ÖD	0,013 ÖD	201C	154C	93C	109C	83B	47C
Lara-4	0,023 ÖD	0,016 ÖD	0,013 ÖD	289B	197B	113B	115B	97A	56B
Lara-8	0,021 ÖD	0,020 ÖD	0,020 ÖD	403A	274A	145A	124A	97A	63A
LSD>0.05	0,0230			4,766			4,296		
Ankara-O	0,15C	0,15C	0,09D	201D	92D	56C	105D	56C	28D
Ankara-2	0,22B	0,14C	0,15C	245C	115C	98B	121C	107B	54C
Ankara-4	0,22B	0,19B	0,18B	384B	144B	97B	136B	103B	63B
Ankara-8	0,29A	0,34A	0,20A	416A	191A	107A	154A	118A	91A
LSD>0.05	0,0101			3,768			3,952		
Karamürsel-O	0,011B	0,011B	0,010B	117D	86D	51D	54D	41D	23D
Karamürsel -2	0,015B	0,019B	0,020AB	156C	124C	84C	75C	46C	39C
Karamürsel -4	0,018B	0,023A	0,020AB	215B	131B	94B	81B	69B	45B
Karamürsel -8	0,025A	0,027A	0,022A	266A	157A	98A	117A	84A	52A
LSD>0.05	0,0107				2,918		3,952		
Bafra-O	0,006B	0,007B	0,004B	56D	41D	33D	17C	11D	09B
Bafra-2	0,008B	0,019AB	0,009B	69C	84C	51C	19C	15C	11AB
Bafra-4	0,012AB	0,026A	0,010B	92B	105B	71B	36B	23B	18A
Bafra-8	0,059A	0,034A	0,019A	134A	114A	91A	45A	29A	21A
LSD>0.05	0,0122			4,553		3,672			
Çiğli-O	0,050D	0,047D	0,038D	34D	30D	21D	24D	17D	11D
Çiğli-2	0,293C	0,118C	0,160C	96C	105C	149C	92C	71C	17C
Çiğli-4	0,317B	0,136B	0,216B	213B	209B	191B	146B	139B	64B
Çiğli-8	0,422A	0,210A	0,231A	335A	291A	252A	151A	145A	89A
LSD>0.05	0,0072			5,328			4,676		
Yozgat-O	0,012 ÖD	0,010B	0,009 ÖD	154D	104D	33D	92D	59C	27D
Yozgat-2	0,015 ÖD	0,032B	0,010 ÖD	178C	154C	71C	98C	61C	35C
Yozgat-4	0,017 ÖD	0,036A	0,020 ÖD	233B	167B	121B	118B	73B	49B
Yozgat-8	0,026 ÖD	0,052A	0,029 ÖD	385A	219A	158A	141A	97A	71A
LSD>0.05	0,0356			4,458			3,730		
Elazığ-O	0,031B	0,032B	0,010 ÖD	289B	206C	125C	141B	97C	71B

Çizelge 4.3 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların toplam ve amonyum-nitrat azotu etkisi (devam)

Elazığ -2	0,032B	0,039AB	0,013 ÖD	286B	274B	148B	105D	78D	53C
Elazığ -4	0,038B	0,037AB	0,014 ÖD	301A	290A	128C	125C	107B	78A
Elazığ -8	0,058A	0,045A	0,015 ÖD	289B	206C	175A	176A	135A	83A
LSD>0.05	0,0109			4,458			4,490		
Düzce-O	0,022B	0,022B	0,017B	186D	133D	45D	64D	43D	21D
Düzce-2	0,030AB	0,027AB	0,023AB	206C	154C	71C	106C	86C	42C
Düzce-4	0,030AB	0,028AB	0,028AB	305B	197B	125B	121B	100B	85B
Düzce-8	0,035A	0,032A	0,030A	416A	256A	145A	149A	105A	93A
LSD>0.05	0,0066			5,055			4,093		

*Büyük harf düzeyi olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);
LSD: Least Significant Difference*



Şekil 4.6 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprakların N değeri üzerine etkileri (%)

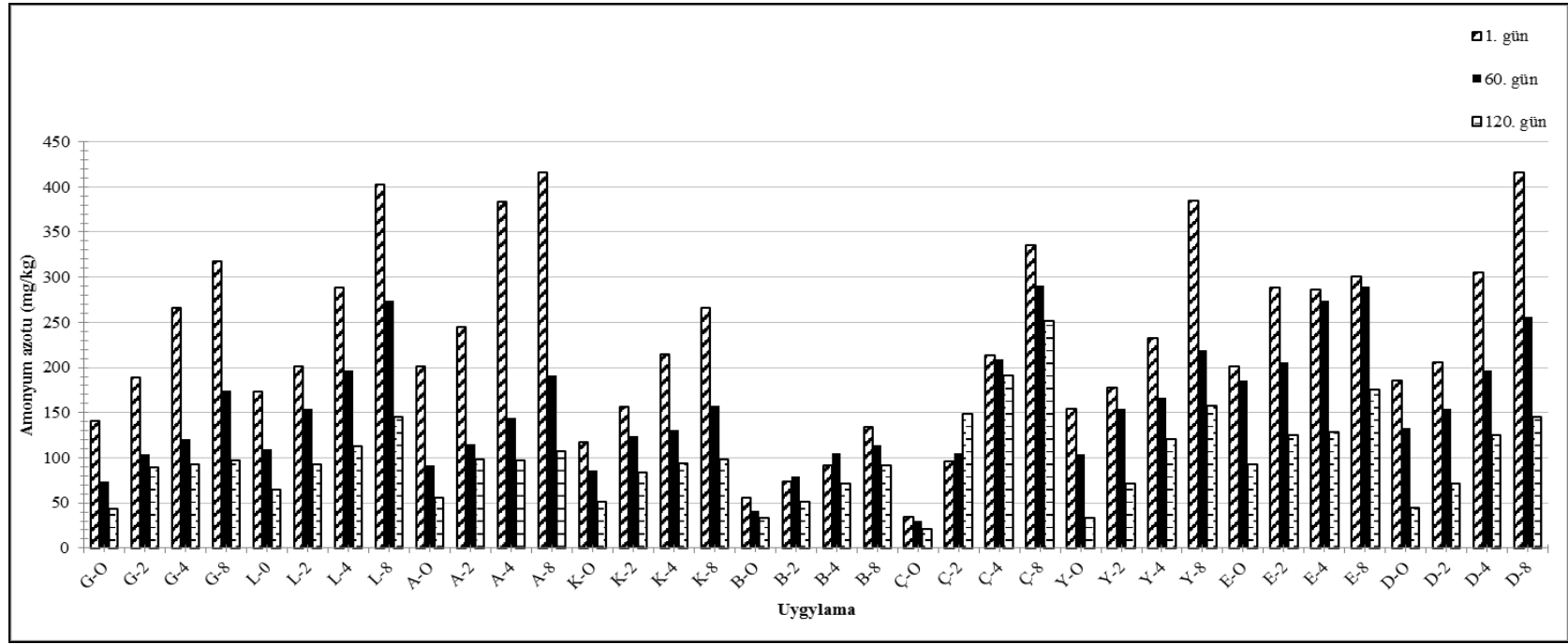
G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

4.1.7 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve $\text{NO}_3^-\text{-N}$ miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen amonyum ve nitrat azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve $\text{NO}_3^-\text{-N}$) değerleri çizelge 4.3’de verilmiştir. Arıtma çamuru ilavesi ile $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve $\text{NO}_3^-\text{-N}$ içeriklerinde meydana gelen değişim, toplam azot içeriğinde sağlanan artış ile benzerlik göstermiştir.

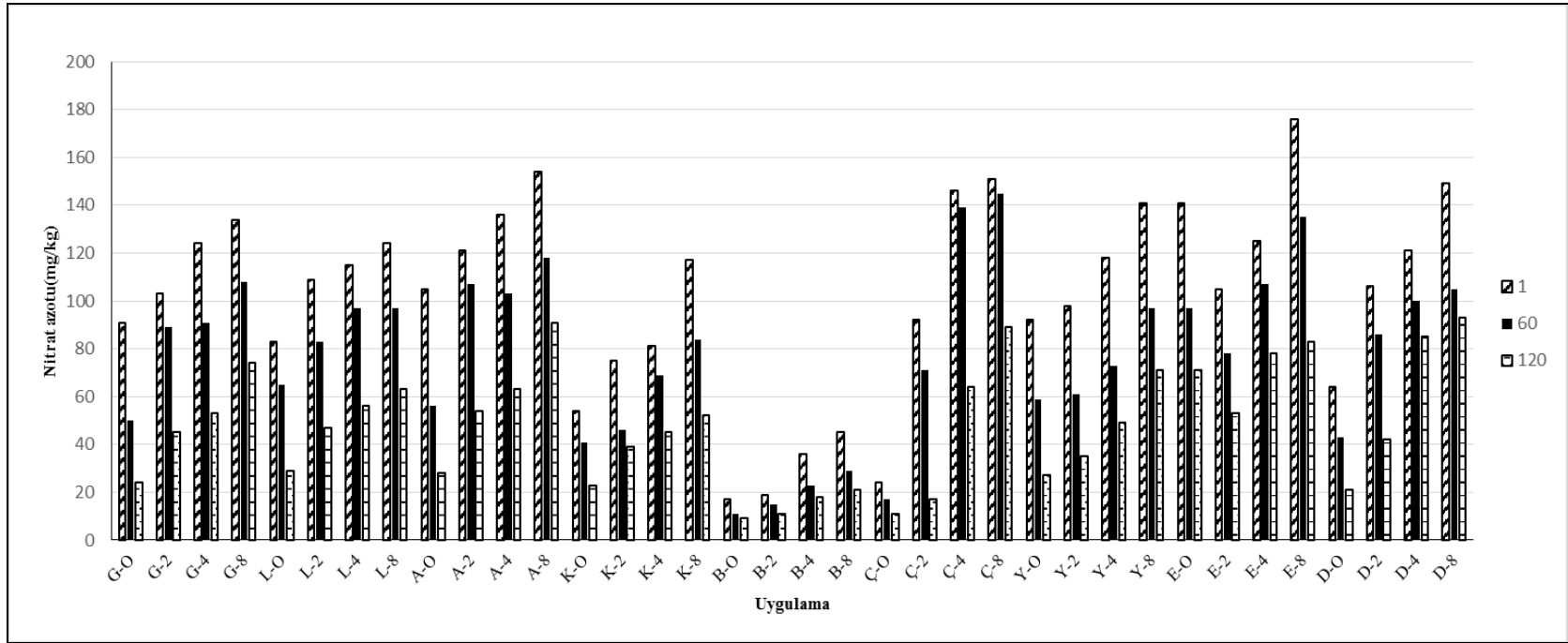
Arıtma çamuru ilavesi ile $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve $\text{NO}_3^-\text{-N}$ içeriklerinde meydana gelen değişim, toplam azot içeriğinde sağlanan artış ile benzerlik göstermiştir (Şekil 4.7, 4.8). İnkübasyon süresi boyunca çamur ilave edilmiş topraklardaki $\text{NH}_4^+\text{-N}$ u değişiminde 1. ayda mineralizasyona bağlı olarak artan çamur dozuyla beraber amonyak azotu artışı gözlenmiştir. Bunu takip eden 2 aylık dönemde bütün amonyum azotu değerlerinin azaldığı ve bu azalışın istatistiki bakımdan önemli bulunduğu ($P<0.05$) gözlenmiştir. Toprakların $\text{NO}_3^-\text{-N}$ değerleri de artan çamur dozuna bağlı olarak ilk 1 aylık dönemde artış göstermiştir. Nitrifikasyon süreci gözlemlendiğinde ilk 1 aylık inkübasyon sırasında nitrat azotu maksimum düzeylere ulaşmış ve bundan sonra 120. güne kadar ise sürekli azalma göstermiştir. Bu konuda yapılan benzer çalışmalarda inkübasyon sürelerinin çok daha kısa süre tutulduğu ve bu çalışmada belirlenen değişimlerin gözlemlenmediği anlaşılmaktadır. Justice ve Smith (1962) çalışmalarında inkübasyon sırasındaki mineralizasyona bağlı yüksek amonyak konsantrasyonunun topraktaki nitrifikasyonu gerilettiğini belirtmişlerdir. Hassen vd. (1998) ise, toprağa farklı organik atıklar (arıtma çamuru, çiftlik gübresi ve katı atık kompostu) uygulandığında, ilk ayda mikrobiyal popülasyonun yeni koşullara adaptasyonundan dolayı önemli bir N-tüketiminin (immobilizasyon) gerçekleştiğini, daha sonraki aylarda ise N-mineralizasyonunun ve mikrobiyal aktivitenin arttığını saptamışlardır. Bu konuda yapılan diğer çalışmalarda inkübasyon sürelerinin çok daha kısa süre tutulduğu ve bu çalışmada belirlenen değişimlerin gözlemlenmediği anlaşılmaktadır. Justice ve Smith (1962) çalışmalarında inkübasyon sırasındaki mineralizasyona bağlı yüksek amonyak konsantrasyonunun topraktaki nitrifikasyonu gerilettiğini belirtmişlerdir.

Yüksek oranda toprağa çamur uygulaması sonucunda, yüksek konsantrasyonlarda amonyum ve nitrat bitki gelişmesini engelleyebildiği gibi yüksek nitrat konsantrasyonu yer altı su kaynağı kirliliklerine neden olacaktır.



Şekil 4.7 İnkübasyon denemesi uygulamalarının NH_4^+ -N değeri üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da



Şekil 4.8 İnkübasyon denemesi uygulamalarının ve NO_3^- -N değeri üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

4.1.8 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin alınabilir fosfor miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen alınabilir fosfor değerleri çizelge 4.4’de verilmiştir. Toprakların hepsinde ilave edilen çamur dozuna bağlı olarak ilk bir aylık dönemde alınabilir fosfor miktarları $P < 0.05$ düzeyinde önemli artış göstermiştir. Bu da toprak+çamur kapsamında fosforun bir kısmının humifikasyon periyodu boyunca mineralizasyona bağlı olarak alınabilir forma dönüşmesinden kaynaklanmaktadır (Hernandez vd. 1990). İnkübasyonun ilerleyen dönemlerinde ise mineralizasyona bağlı olarak P değerleri azalmış, çamur dozları ile kontrol arasındaki fark önemini korumaya devam etmiştir.

Farklı inkübasyon dönemlerinde gözlenen alınabilir fosfor değerlerindeki doza bağlı değişimler dikkat çekicidir. Birçok parametrede olduğu gibi çamur ilave edilmiş toprak sisteminin inkübasyonun ilerleyen dönemlerinde dengeye geldiği anlaşılmaktadır. Diğer bir dikkat çekici değişim ise yarayışlı fosfor düzeylerinin inkübasyonun 2. ayından itibaren ciddi azalma göstermesidir. Muhtemelen bu tür değişimler sistemdeki mikrobiyal faaliyetin immobilize ettiği fosfor miktarı ile ilişkili olabilir. Arıtma çamuru ilavesiyle topraktaki yarayışlı fosfor miktarının bu denli yüksek oranda artması, hem toprak pH'sındaki düşüşten, hem de arıtma çamurunun yarayışlı fosfor içeriğinin yüksek olmasından kaynaklanmış olabileceği tahmin edilmektedir.

Arıtma çamurları iyi bir fosfor kaynağıdır ve yüksek fosfor fiksasyon kapasiteli topraklar da dâhil kolaylıkla alınabilirler (Sommers ve Sutton 1980, McLaughlin ve Champion 1987). Pekçok araştırmacı (Gupta ve Hani 1979, Furrer vd. 1984) arıtma çamurundaki alınabilir fosfor miktarının mineral fosfor gübresindeki ile aynı ya da daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Arıtma çamuru uygulanan topraklarda bitkiler tarafından yüksek alınabilir P varlığı, toprakta çözünemez formdaki fosforun açığa çıkmasında etkili olan organik bileşiklerin etkisinden kaynaklanmış olabilir. Bu etki özellikle fosforun bağlandığı kireçli (Ayuso vd. 1992) veya kristal olmayan Fe ve Al bileşiklerini içeren asit topraklarda daha fazla (García-Rodeja ve Macías 1983) görülmektedir.

Çizelge 4.4 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların alınabilir fosfor ve değişebilir potasyum üzerine etkisi

Uygulama (ton/da)	P mg/kg			K meq/100 g		
	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün
Gaziantep-O	22,09D	22,61C	10,08C	1,29B	1,11 ÖD	1,15 ÖD
Gaziantep-2	39,08C	44,08B	15,73BC	1,30A	1,19 ÖD	1,17 ÖD
Gaziantep-4	51,75B	52,07B	23,97B	1,36A	1,12 ÖD	1,15 ÖD
Gaziantep-8	120,61A	82,63A	34,20A	1,34A	1,12 ÖD	1,14 ÖD
LSD>0.05	8,707			0,0301		
Lara-O	20,51C	20,45C	19,67C	0,50A	0,50 ÖD	0,48 ÖD
Lara-2	70,04B	73,35B	56,80B	0,51A	0,50 ÖD	0,50 ÖD
Lara-4	78,98B	93,01AB	74,36B	0,45B	0,51 ÖD	0,48 ÖD
Lara-8	128,57A	115,00A	98,33A	0,54A	0,53 ÖD	0,48 ÖD
LSD>0.05	22,107			0,0353		
Ankara-O	18,97C	18,86D	6,32B	0,90 ÖD	0,88 ÖD	0,54 ÖD
Ankara-2	59,09B	47,49C	19,49AB	0,91 ÖD	0,88 ÖD	0,58 ÖD
Ankara-4	69,41B	70,95B	27,83AB	0,90 ÖD	0,90 ÖD	0,56 ÖD
Ankara-8	134,54A	109,64A	35,98A	0,91 ÖD	0,89 ÖD	0,56 ÖD
LSD>0.05	22,65			0,0489		
Karamürsel-O	5,99D	5,93D	4,35C	0,90 ÖD	0,84 ÖD	0,81 ÖD
Karamürsel -2	42,17C	35,36C	13,13BC	0,91 ÖD	0,86 ÖD	0,82 ÖD
Karamürsel -4	81,75B	61,32B	26,39B	0,90 ÖD	0,89 ÖD	0,83 ÖD
Karamürsel -8	134,43A	91,33A	59,55A	0,90 ÖD	0,89 ÖD	0,82 ÖD
LSD>0.05	19,730			0,0303		
Bafra-O	8,73C	7,17D	2,82B	0,44 ÖD	0,43 ÖD	0,42 ÖD
Bafra-2	18,21B	19,06C	6,76B	0,44 ÖD	0,42 ÖD	0,40 ÖD
Bafra-4	20,50B	30,46B	9,81B	0,44 ÖD	0,45 ÖD	0,42 ÖD
Bafra-8	29,95A	51,66A	24,87A	0,44 ÖD	0,45 ÖD	0,44 ÖD
LSD>0.05	9,42			0,0405		
Çiğli-O	16,03C	15,53C	4,34C	0,57 ÖD	0,56 ÖD	0,49 ÖD
Çiğli-2	33,12B	39,46B	13,22BC	0,57 ÖD	0,58 ÖD	0,50 ÖD
Çiğli-4	38,33B	43,38B	20,56B	0,58 ÖD	0,57 ÖD	0,52 ÖD
Çiğli-8	58,66A	57,91A	30,87A	0,57 ÖD	0,56 ÖD	0,54 ÖD
LSD>0.05	9,77			0,107		
Yozgat-O	15,88D	16,37C	5,78C	1,43B	1,43 ÖD	1,10 ÖD
Yozgat-2	33,23C	24,82C	8,56BC	1,49A	1,47 ÖD	1,11 ÖD
Yozgat-4	53,02B	36,95B	15,01B	1,47AB	1,46 ÖD	1,09 ÖD
Yozgat-8	75,82A	56,21A	32,66A	1,49A	1,45 ÖD	1,12 ÖD
LSD>0.05	2,94			0,0519		
Elazığ-O	28,21B	25,84C	11,07B	0,75 ÖD	0,64 ÖD	0,53B
Elazığ -2	33,97B	34,50AB	12,95B	0,75 ÖD	0,67 ÖD	0,56AB

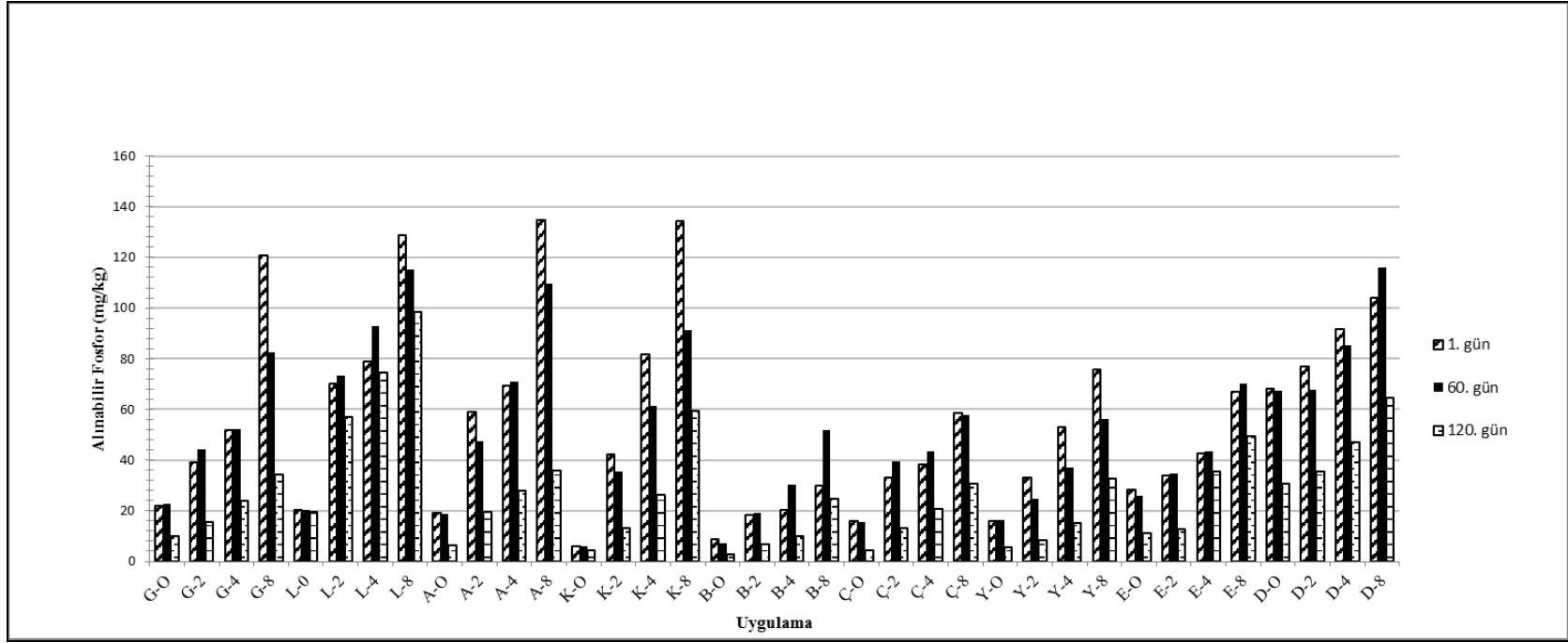
Çizelge 4.4 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların alınabilir fosfor ve değişebilir potasyum üzerine etkisi (devam)

Elazığ -4	42,70B	43,55B	35,62AB	0,74 ÖD	0,64 ÖD	0,58A
Elazığ -8	66,77A	70,25A	49,51A	0,75 ÖD	0,65 ÖD	0,57A
LSD>0.05	23,483			0,0344		
Düzce-O	67,98C	67,50C	30,70C	1,29D	1,01C	1,15C
Düzce-2	76,75C	67,92C	35,44C	1,30C	1,07B	1,17C
Düzce-4	91,65B	85,27B	46,92B	1,36B	1,09B	1,25B
Düzce-8	104,21A	115,81A	64,39A	1,34A	1,12A	1,24A
LSD>0.05	11,266			0,0079		

Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

LSD: Least Significant Difference

ÖD: önemli değil



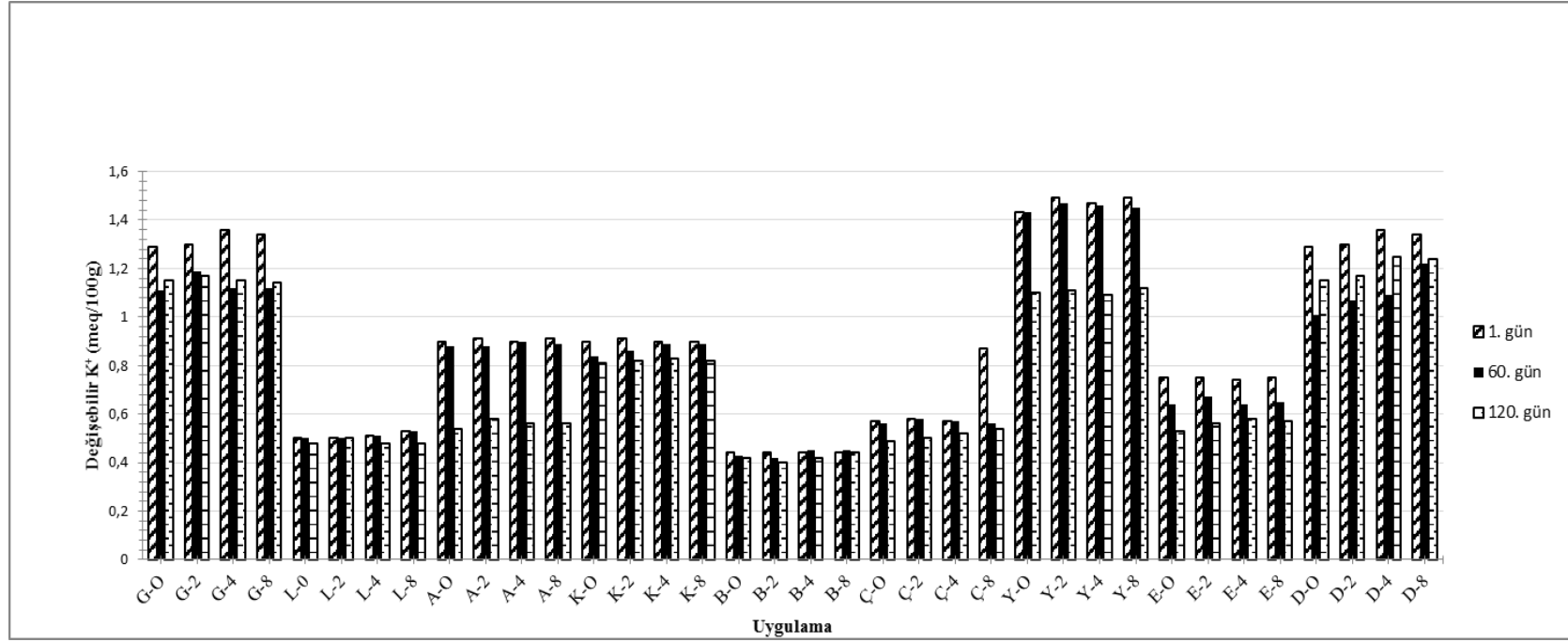
Şekil 4.9 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir fosfor değeri üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

4.1.9 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin değişebilir potasyum (K) değerlerindeki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen değişebilir K değerleri çizelge 4.4’de verilmiştir. Çamur ilave edilmesinin toprakların değişebilir K değerleri üzerinde yapmış olduğu etki istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların K değerleri zamana bağlı olarak azalma göstermiş ancak Düzce toprakları hariç diğer topraklarda çamur ilavesiyle toprağın değişebilir K miktarlarındaki çok hafif artış veya değişimler önemli bulunmamıştır. Düzce çamuru ilave edilen Düzce topraklarında ise artan çamur dozuna bağlı olarak toprağın K değişim miktarları $P < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Şekil 4.10).

Arıtma çamurlarının N ve P yönünden yararlanılabilir bir kaynak olduğu ancak potasyum yönünden fakir kaldığı, özellikle sulu haldeki çürütülmüş çamurların bitkiye yarayışlı N ve P bakımından oldukça değerli bir kaynak olduğu bilinmektedir. Genel olarak arıtma çamurlarının K içeriği düşüktür. Arıtma çamurlarının toprağa uygulanmasında bitkinin ihtiyacı olan N ve P besin elementlerini karşılaması dikkate alınır ve bazı durumlarda çamurun düşük K içermesinden kaynaklanan dengesiz besin elementi durumu ortaya çıkabilmektedir. Toprağa organik atık ilave edildiğinde toprakta yarayışlı K^+ miktarının azaldığı, çünkü yarayışlı K ile toprak organik madde miktarı arasında negatif ilişki olduğu ileri sürülmektedir (Liu 1994).



Şekil 4.10 İnkübasyon denemesi uygulamalarının değişebilir K değeri üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

4.1.10 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin alınabilir ağır metal miktarlarındaki değişimler

Toprak örneklerinde belirlenen alınabilir Zn, Pb, Cd miktarları çizelge 4.5, Ni, Cr ve Cu miktarları ise çizelge 4.6'da verilmiştir. Arıtma çamuru ilavesi topraktan alınabilir Zn miktarını artırmıştır. Özellikle Ankara çamuru ilave edilmiş bölge toprağında alınabilir Zn miktarı kontrol toprağında 0,04 mg/kg iken 8ton/da çamur uygulanmış toprakta 14,29 mg/kg'a yükselmiştir. Benzer şekilde Gaziantep uygulamasında da Zn miktarındaki artış dikkat çekicidir. Bunun nedeni sözkonusu çamurların Zn miktarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer çamur uygulamalarında da benzer şekilde artan çamur dozuna bağlı olarak alınabilir Zn miktarları artmıştır

Arıtma çamuru ilavesi topraktan alınabilir Pb miktarı üzerine etkisi çamur uygulamalarına göre değişiklik göstermiştir. Alınabilir Pb değerleri Gaziantep çamur uygulamasında özellikle inkübasyonun son döneminde (120. gün) önemli miktarda artış göstermiştir. İzmir, Elazığ ve kısmen Ankara çamuru uygulamalarında doza bağlı Pb miktarlarında artış belirlenmiş, geri kalan çamurlarda ise arıtma çamuru uygulaması doza bağlı olarak alınabilir Pb miktarını istatistiki olarak önem arz edecek şekilde etkilememiştir.

Antalya-Lara ve Karamürsel hariç diğer çamur uygulamalarında toprakların alınabilir Cd içerikleri inkübasyonun 1. ayında artan çamur dozuna bağlı olarak artış göstermiş, inkübasyonun 2. ve 3 aylarında ise kontrol ile dozlar arasında fark belirlenmemiştir. Çamur uygulanmış toprakların alınabilir Ni içerikleri doza bağlı olarak (Elazığ ve Lara çamur uygulamaları hariç) artış göstermiş, zamana bağlı olarak ise azalmıştır (GASKİ hariç). Gaziantep çamur uygulamasında bunun tersi olarak inkübasyonun 3. ayında alınabilir Ni miktarları artmaya devam etmiştir.

Toprakların Cr içerikleri okuma limitlerinin altında bulunmuş ve çamur uygulamaları ile kontrol arasında bir fark belirlenmemiştir.

Toprakların alınabilir Cu değerleri Ankara, Samsun-Bafra ve İzmir-Çiğli çamur uygulamalarında doza ve zamana bağlı artış göstermiş, diğer çamurlarda ise doza bağlı

artışlar ve zamana bağlı azalışlar belirlenmiştir. Lara ve Düzce çamur uygulamalarında ise sadece inkübasyonun 1 ayında doza bağlı alınabilir Cu miktarları $P < 0.05$ düzeyinde önemli artış göstermiş, inkübasyonun 2. ve 3. aylarında ise kontrol ve çamur uygulamaları arasındaki fark önemli bulunmamıştır. Artan dozda arıtma çamuru ilavesi ile alınabilir Cu miktarının artması humifikasyon periyodu ile ilgi olup, bakırın organik madde ile kompleks oluşturma eğilimi, kil yüzeylerinde Cu-OH^+ adsorpsiyonu ve kalsiyum karbonattan bazik bir Cu-karbonat oluşumu ile beraber toprakta Cu'nun tutulması ile ilgili en etkili mekanizmalardan biri olarak tanımlanmaktadır (Polo vd. 1999).

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde Pb, Cd, Ni, Cr, Cu ve Zn miktarları genel olarak bütün çamur dozlarında zamana bağlı azalma göstermektedir (bazı çamurlar hariç, bunlar yukarıda her bir elementin açıklamasında belirtilmiştir). Bu elementlerden Cd ve Pb hariç diğerleri toprakta kompleks oluşturabilen ve mikroorganizmaların gelişmesi için ve özellikle de enzim sistemlerinin faaliyetleri için gerekli olan elementlerdir. Araştırmada kullanılan toprak örneklerinin İzmir-Çiğli ve Antalya-Lara toprakları hariç kil içermesi nedeniyle toprak örneklerinde belirlenen ağır metal miktarlarında genellikle inkübasyon süresi içinde bir azalma söz konusudur. Gözlenen bu azalmanın araştırmada kullanılan killi toprak örneklerinin kil minerallerindeki ilerleyen adsorpsiyona ve muhtemelen mikrobiyal biyokütledeki immobilizasyona bağlı olabileceği düşünülmektedir. Fuji vd. (1986) toprak, çamur ve su sistemlerinde metal iyonlarının sistem içindeki reaksiyonlarla hidroksit ve karbonat çözeltileri meydana getirebileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacıların bu yorumu, uzun bir inkübasyon süresinde alınabilir metal miktarının çamur dozuna bağlı olarak inkübasyon süresi boyunca azalmasına açıklayıcı bir katkı getirmektedir.

Topraklara artan dozlarda uygulanan arıtma çamurlarının toprağın alınabilir Zn, Ni, Cd, Cr, Cu vb elementlerin miktarında çamurun içerdiği miktara bağlı olarak artışlara neden olduğu pek çok araştırmacı tarafından da belirlenmiştir (Jordao vd. 2003, McGrath vd. 1988). Araştırmacılar çamura bağlı bu artışın çamurun toplam metal içeriğine bağlı olmasının yanı sıra çamurun organik madde miktarına da bağlı olabileceğini, organik maddenin elementlerin çözünabilirlik ve biyoalınabilirliği üzerine direk etki edebileceğini de belirtmektedirler Araştırmacıların genel kanısı organik maddenin

varlığının alınabilir metal miktarını artırdığı ve çamurun en yüksek dozunda meydana gelen alınabilir metal miktarındaki artışın nedeninin organik madde miktarının artışından kaynaklandığı yönündedir (McBride vd. 1995).

Çizelge 4.5 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların alınabilir Zn, Pb ve Cd içerikleri üzerine etkisi (mg/kg)

Uygulama (ton/da)	DTPA Zn			Pb (NH ₄ ⁺ Asetat)			DTPA Cd		
	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün
Gaziantep-O	0,083D	0,084D	0,093C	0,200 ÖD	<0,2ÖD	0,19A	0,50B	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Gaziantep-2	2,39C	1,135C	0,773B	0,233 ÖD	<0,2ÖD	4,32B	0,97A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Gaziantep-4	3,60B	1,819B	1,251B	0,225 ÖD	<0,2ÖD	4,36B	0,96A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Gaziantep-8	5,06A	3,729A	2,737A	0,230 ÖD	<0,2ÖD	4,35B	0,96A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
LSD>0.05	0,576			0,106			0,0191		
Lara-O	0,61D	0,62D	0,59D	0,30 ÖD	0,29 ÖD	0,30ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Lara-2	1,53C	1,46C	1,30C	0,30 ÖD	0,29 ÖD	0,32ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Lara-4	2,00B	1,88B	1,50B	0,33 ÖD	0,25 ÖD	0,32ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Lara-8	2,56A	2,40A	2,50A	0,32 ÖD	0,29 ÖD	0,35ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD
LSD>0.05	0,187			0,063			-		
Ankara-O	0,039C	0,041B	0,071 ÖD	0,229 ÖD	0,24 ÖD	0,25 ÖD	0,575B	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Ankara-2	7,050B	2,441B	1,958 ÖD	0,227 ÖD	0,42 ÖD	0,36 ÖD	0,936A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Ankara-4	6,827B	4,748AB	5,053 ÖD	0,224 ÖD	0,49 ÖD	0,50 ÖD	0,985A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Ankara-8	14,29A	8,266A	4,206 ÖD	0,244 ÖD	0,54 ÖD	0,65 ÖD	1,002A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
LSD>0.05	5,016			0,528			0,376		
Karamürsel-O	0,323D	0,257C	0,197C	0,238 ÖD	<0,2ÖD	<0,2ÖD	0,75ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Karamürsel -2	2,097C	0,687BC	0,786BC	0,217 ÖD	<0,2ÖD	<0,2ÖD	0,77ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Karamürsel -4	3,711B	1,400B	1,272AB	0,243 ÖD	<0,2ÖD	<0,2ÖD	0,77ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Karamürsel -8	6,650A	2,416A	1,865A	0,256 ÖD	<0,2ÖD	<0,2ÖD	0,76ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD
LSD>0.05	0,744			0,082			-		
Bafra-O	0,03B	0,03B	0,02B	0,63B	<0,5	<0,5	0,54C	<0,5	<0,5
Bafra-2	2,38B	0,90B	0,77B	1,09AB	<0,5	<0,5	0,93B	<0,5	<0,5
Bafra-4	2,41A	1,07B	1,15B	1,37A	<0,5	<0,5	0,92A	<0,5	<0,5
Bafra-8	2,77A	3,22A	2,90A	1,37A	<0,5	<0,5	0,96A	<0,5	<0,5
LSD>0.05	1,179			0,509			0,013		
Çiğli-O	0,128C	0,180B	0,144B	0,565B	0,441B	0,258B	0,083B	<0,05B	<0,05B

Çizelge 4.5 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların alınabilir Zn, Pb ve Cd içerikleri üzerine etkisi (mg/kg)(devam)

Çiğli-2	0,784C	1,480B	1,058AB	1,506A	1,500A	1,307A	0,633A	<0,5A	<0,5A
Çiğli-4	2,361B	2,810a	2,732AB	1,482A	1,500A	1,365A	0,873A	<0,5A	<0,5A
Çiğli-8	4,223A	4,452A	4,094A	1,542A	1,500A	1,339A	0,920A	<0,5A	<0,5A
LSD>0.05	1,3449			0,214			0,237		
Yozgat-O	0,014B	0,023B	0,012B	0,397 ÖD	0,307 ÖD	0,378 ÖD	0,562B	<0,5	<0,5
Yozgat-2	0,317AB	0,024B	0,857A	0,405 ÖD	0,346 ÖD	0,385 ÖD	0,971A	<0,5	<0,5
Yozgat-4	0,557A	0,538A	0,273B	0,400 ÖD	0,349 ÖD	0,407 ÖD	0,697AB	<0,5	<0,5
Yozgat-8	0,693A	0,560A	0,018B	0,400 ÖD	0,398 ÖD	0,416 ÖD	0,711A	<0,5	<0,5
LSD>0.05	0,461			0,398			0,297		
Elazığ-O	0,32D	0,22C	0,22C	0,240D	0,209 ÖD	0,204B	0,57D	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Elazığ-2	2,44C	0,79BC	0,88BC	1,938B	0,217 ÖD	0,279AB	0,95C	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Elazığ-4	3,67B	1,08B	1,69B	1,538C	0,223 ÖD	0,298AB	0,98B	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Elazığ-8	5,49A	2,71A	3,08A	2,676A	0,319 ÖD	0,416A	0,96A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
LSD>0.05	0,817			0,115			0,005		
Düzce-O	0,72C	0,72C	0,61B	0,220ÖD	<0,5ÖD	<0,5B	0,74B	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Düzce-2	2,85BC	1,78BC	0,88B	0,227 ÖD	<0,5ÖD	3,51A	0,97A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Düzce-4	3,72B	2,86AB	1,82B	0,331 ÖD	<0,5ÖD	4,69A	0,99A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
Düzce-8	7,10A	4,05A	4,59A	0,410 ÖD	<0,5ÖD	4,80A	0,98A	<0,5ÖD	<0,5ÖD
LSD>0.05	1,618			1,119			0,208		

Büyük harf düşey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P < 0.05$);

LSD: Least Significant Difference

ÖD: önemli değil

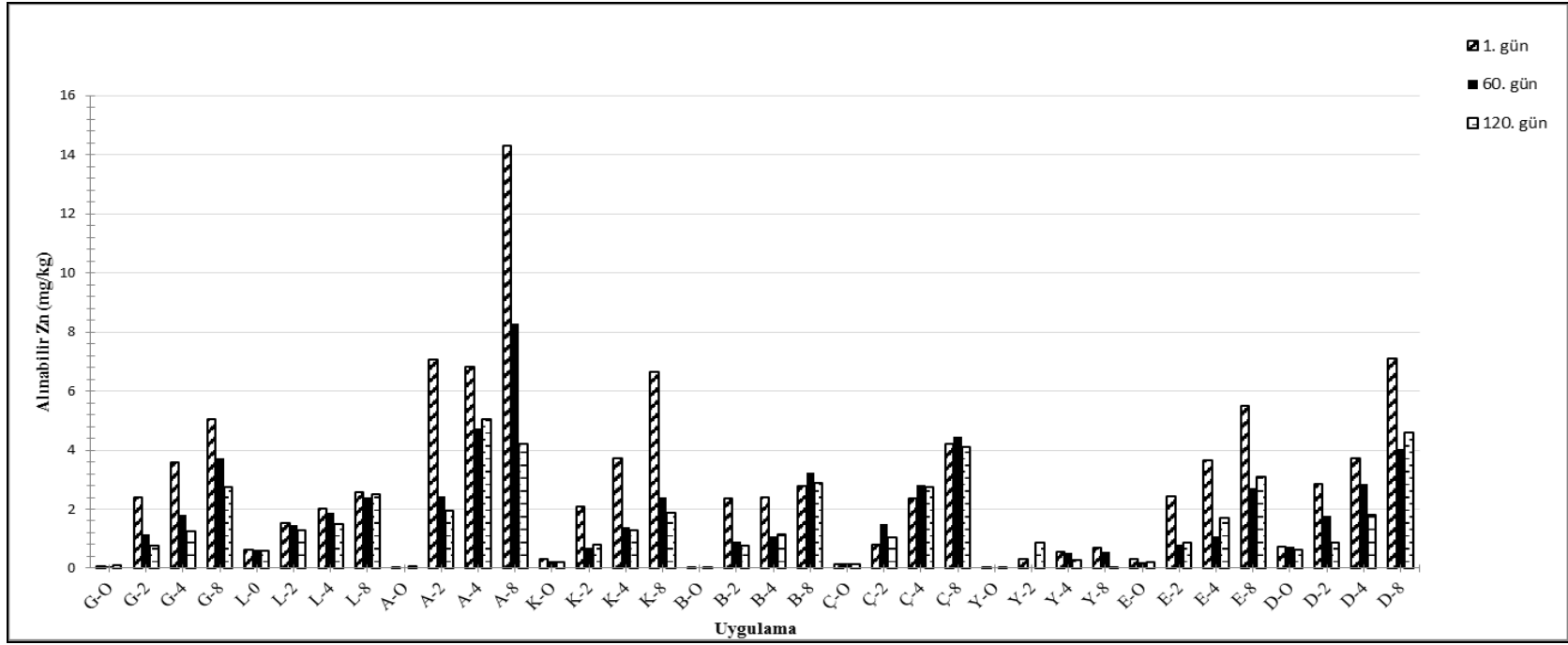
Çizelge 4.6 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların alınabilir Ni, Cr ve Cu içeriklerine etkisi (mg/kg)

Uygulama (ton/da)	DTPA Ni			DTPA Cr			DTPA Cu		
	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün
Gaziantep-O	0,106D	<0,200ÖD	<0,200C	<0,50ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	0,265B	0,265ÖD	0,289ÖD
Gaziantep-2	0,144C	<0,200ÖD	0,302B	<0,50ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	0,617AB	0,308ÖD	0,334ÖD
Gaziantep-4	0,189B	<0,200ÖD	0,344A	<0,50ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	0,556AB	0,381ÖD	0,391ÖD
Gaziantep-8	0,290A	<0,200ÖD	0,326AB	<0,50ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	0,874A	0,408ÖD	0,392ÖD
LSD>0.05	0,035			-			0,362		
Lara-O	0,066D	0,067D	0,060D	0,102B	0,100 ÖD	0,100 ÖD	3,04B	3,01B	2,92 ÖD
Lara-2	0,107C	0,110C	0,096C	0,100B	0,123 ÖD	0,103 ÖD	3,09B	3,13B	3,00 ÖD
Lara-4	0,190B	0,160B	0,130B	0,276A	0,196 ÖD	0,196 ÖD	3,77A	3,58A	3,11 ÖD
Lara-8	0,261A	0,230A	0,174A	0,265A	0,223 ÖD	0,170 ÖD	3,95A	3,63A	3,02 ÖD
LSD>0.05	0,0308			0,137			0,332		
Ankara-O	0,082C	0,046C	<0,2ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	0,253A	0,318A	0,315C
Ankara-2	0,611B	0,136B	<0,2ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	0,403A	0,480A	2,145B
Ankara-4	0,584B	0,162B	<0,2ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	0,555A	0,741A	3,404A
Ankara-8	0,724A	0,336A	<0,2ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	<0,5ÖD	0,882A	0,809A	3,727A
LSD>0.05	0,089			-			1,168		
Karamürsel-O	0,238C	0,112B	<0,2ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	0,45B	0,30 ÖD	0,42 ÖD
Karamürsel -2	0,330BC	0,164B	<0,2ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	0,85B	0,43 ÖD	0,45 ÖD
Karamürsel -4	0,441B	0,374A	<0,2ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	0,92B	0,47 ÖD	0,57 ÖD
Karamürsel -8	0,615A	0,400A	<0,2ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	<0,50ÖD	1,58A	0,54 ÖD	0,64 ÖD
LSD>0.05	0,111			-			0,683		

Çizelge 4.6 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların alınabilir Ni, Cr ve Cu içeriklerine etkisi (mg/kg)

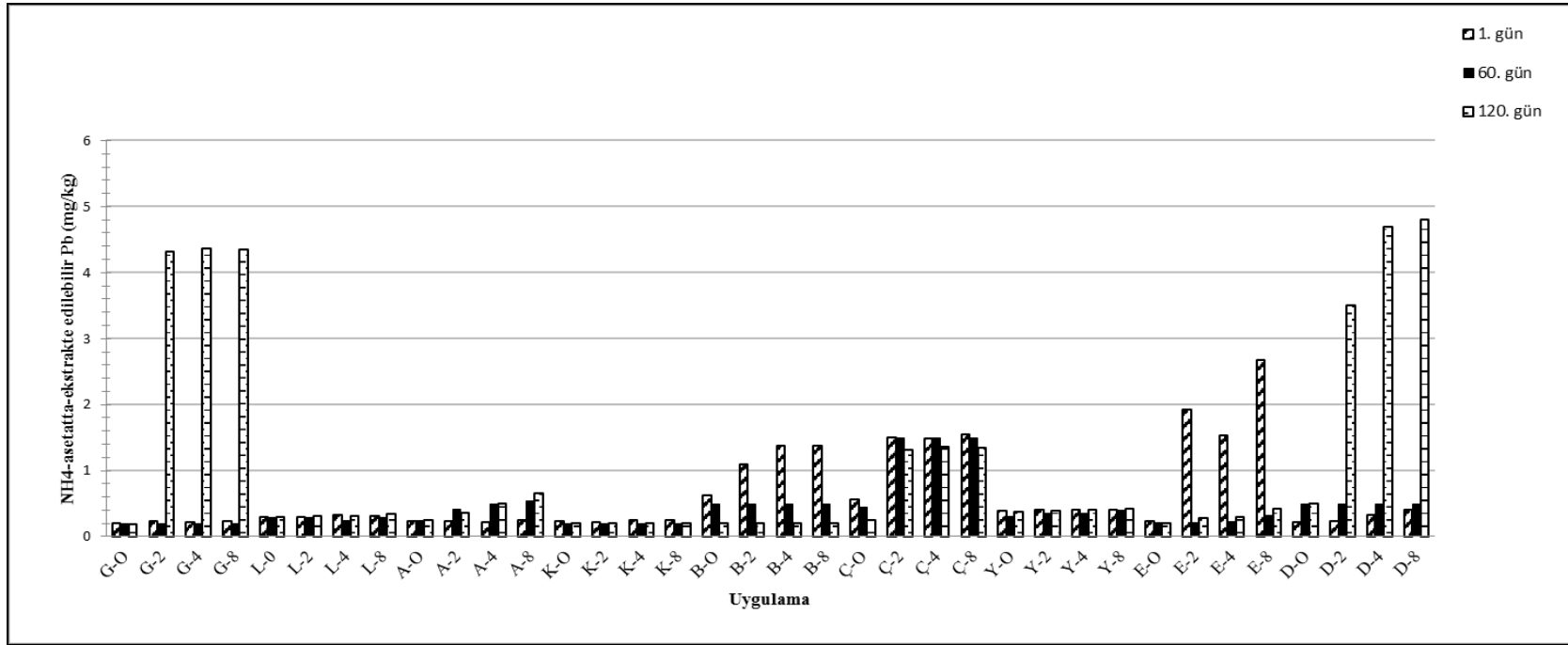
Bafra-O	0,16C	0,16D	<0,10 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	0,30 ÖD	0,30 ÖD	0,32 ÖD
Bafra-2	0,73B	0,28C	<0,10 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	0,34 ÖD	0,34 ÖD	0,34 ÖD
Bafra-4	0,82B	0,38B	<0,10 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	0,39 ÖD	0,37 ÖD	0,65 ÖD
Bafra-8	1,00A	0,66A	<0,10 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	0,52 ÖD	0,52 ÖD	0,70 ÖD
LSD>0.05	0,092			-			0,419		
Çiğli-O	0,277C	0,280B	<0,2ÖD	0,112D	<0,1ÖD	<0,1ÖD	0,292B	0,258B	0,223C
Çiğli-2	0,347C	0,364B	<0,2ÖD	0,356A	<0,1ÖD	<0,1ÖD	0,553AB	0,471AB	1,352B
Çiğli-4	0,494B	0,435B	<0,2ÖD	0,191C	<0,1ÖD	<0,1ÖD	0,585AB	0,722A	1,738B
Çiğli-8	0,846A	0,895A	<0,2ÖD	0,298B	<0,1ÖD	<0,1ÖD	0,797A	0,869A	3,109A
LSD>0.05	0,138			0,0016			0,399		
Yozgat-O	0,122B	0,127C	<0,1 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	0,29B	0,27 ÖD	0,21 ÖD
Yozgat-2	0,261A	0,860A	<0,1 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	1,54A	0,38 ÖD	0,29 ÖD
Yozgat-4	0,325A	0,500B	<0,1 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	1,50A	0,33 ÖD	0,35 ÖD
Yozgat-8	0,304A	0,151C	<0,1 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	1,69A	0,53 ÖD	0,50 ÖD
LSD>0.05	0,112			-			0,815		
Elazığ-O	0,101B	0,090BC	<0,1 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	0,108C	0,170B	0,158 ÖD
Elazığ-2	0,171A	0,100B	<0,1 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	0,757B	0,205B	0,338 ÖD
Elazığ-4	0,143A	0,100B	<0,1 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	0,902B	0,296B	0,491 ÖD
Elazığ-8	0,106A	0,117A	<0,1 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	<0,50 ÖD	1,655A	0,741A	0,571 ÖD
LSD>0.05	0,032			-			0,429		
Düzce-O	0,489B	0,452B	<0,5ÖD	<0,05ÖD	<0,05ÖD	<0,05 ÖD	1,01B	1,18 ÖD	1,21 ÖD
Düzce-2	1,131A	0,597B	<0,5ÖD	<0,05ÖD	<0,05ÖD	<0,05ÖD	1,08B	1,38 ÖD	1,71 ÖD
Düzce-4	1,351A	0,600B	<0,5ÖD	<0,05ÖD	<0,05ÖD	<0,05ÖD	1,49A	1,50 ÖD	1,71 ÖD
Düzce-8	1,362A	1,040A	<0,5ÖD	<0,05ÖD	<0,05ÖD	<0,05ÖD	2,16A	1,66 ÖD	1,85 ÖD
LSD>0.05	0,2878			-			0,960		

Büyük harf düzeyi olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$); ÖD: önemli değil, LSD: Least Significant Difference



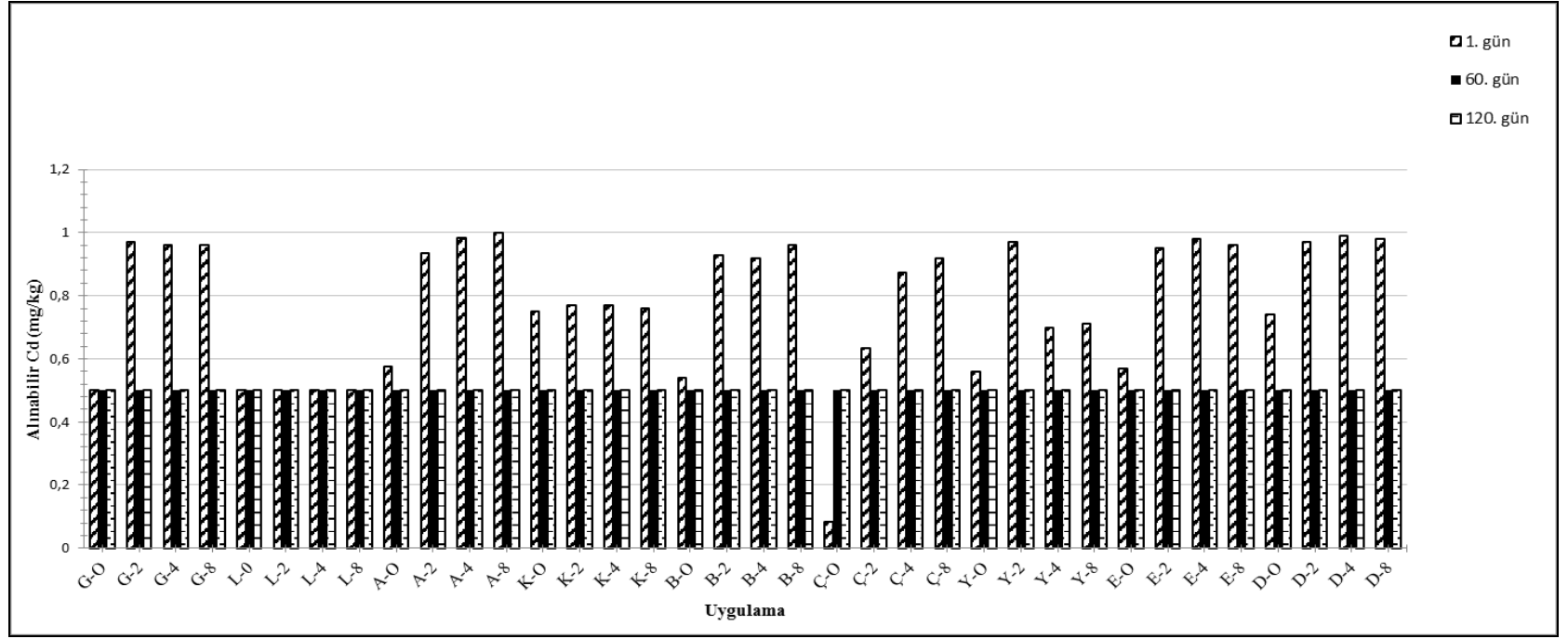
Şekil 4.11 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir Zn miktarı üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da



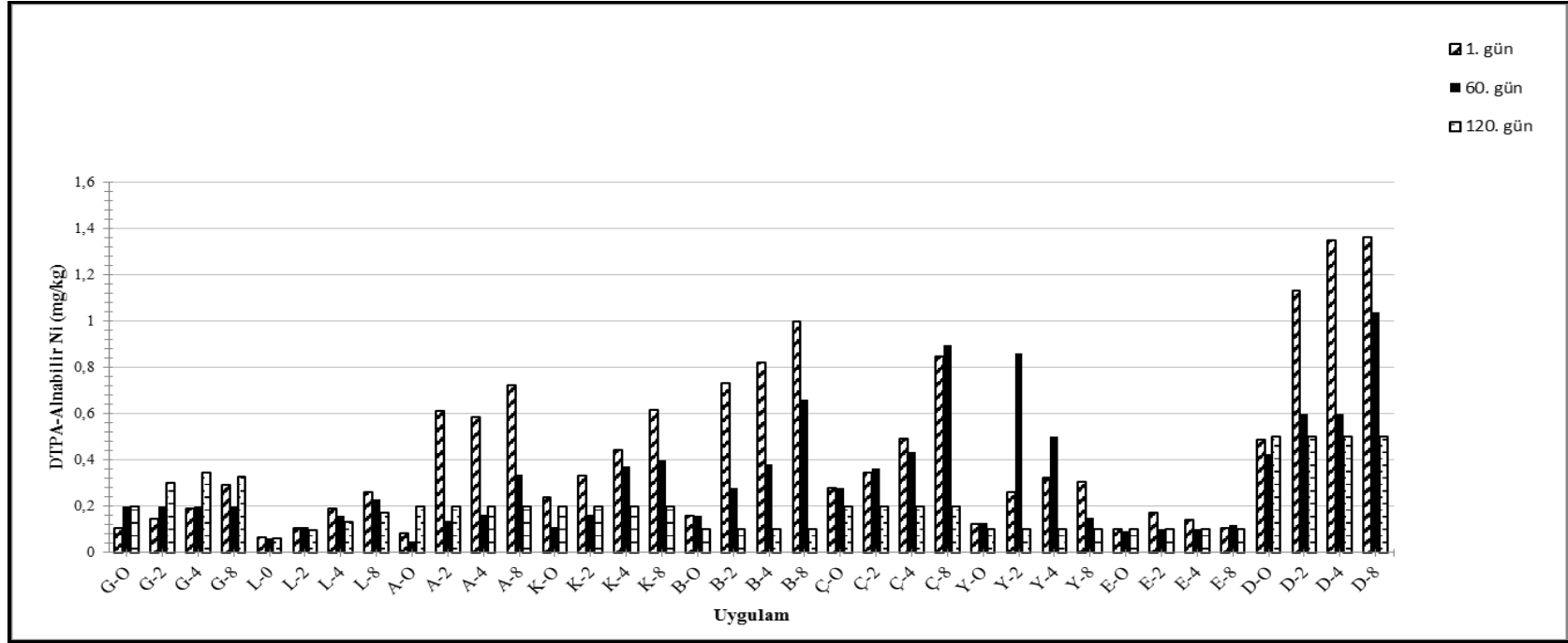
Şekil 4.12 İnkübasyon denemesi uygulamalarının NH₄-asetatta-ekstrakte Edilebilir Pb miktarı üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bağra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da



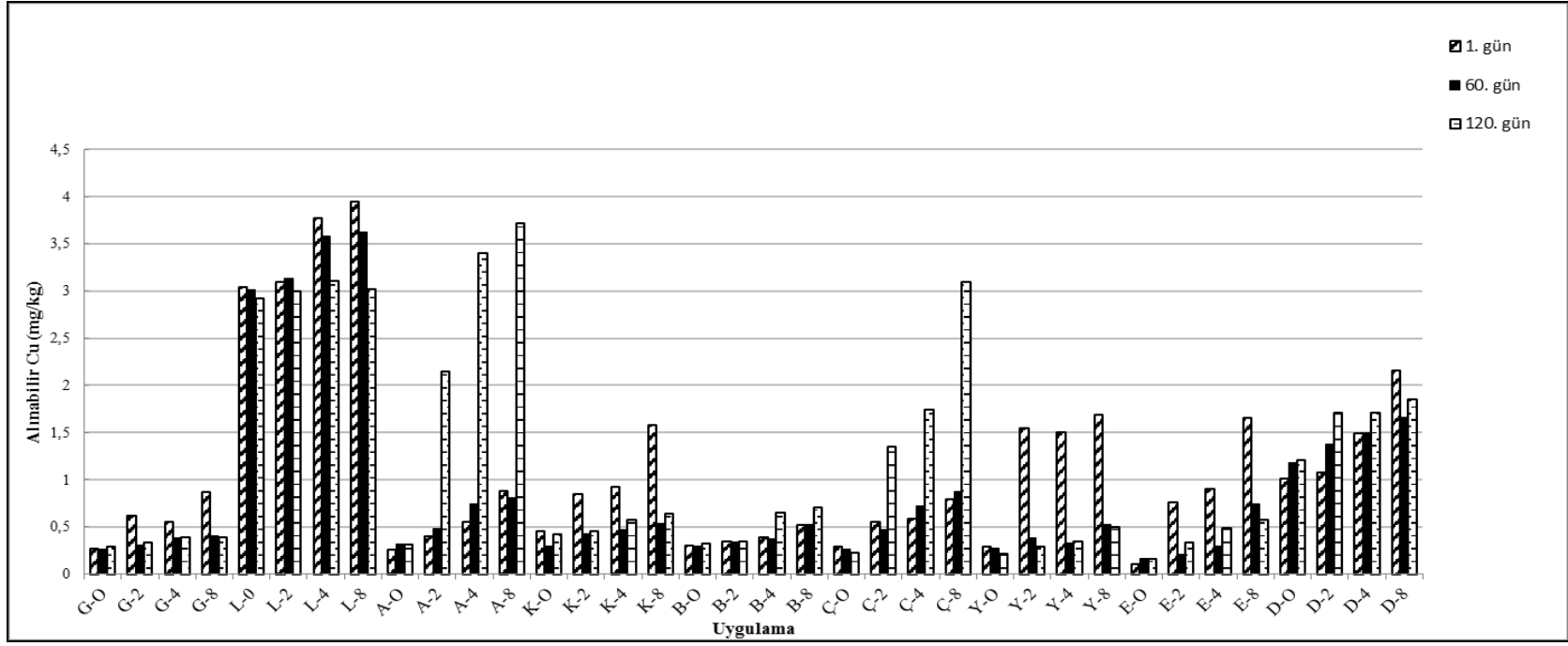
Şekil 4.13 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir Cd miktarı üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da



Şekil 4.14 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir Ni miktarı üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da



Şekil 4.15 İnkübasyon denemesi uygulamalarının alınabilir Cu miktarı üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Baфра, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

4.1.11 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin β - Glukozidaz enzim aktivitesi miktarlarındaki değişimler

Selülozun glukoza tamamen ayrışmasında önemli bir rol oynayan β -glukozidazlar toprakta C-döngüsünde yer alan önemli bir enzimdir. İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen Beta Glukozidaz enzim aktivitesi değerleri çizelge 4.7’de verilmiştir.

Zamana bağlı değişim incelendiğinde; inkübasyonun 1. gününde tüm çamur çeşitlerinde artan çamur dozuna bağlı olarak enzim aktivitesi $P<0.05$ düzeyinde artış göstermiştir. En düşük enzim aktivitesi kontrol, en yüksek β - glukozidaz enzim aktivitesi ise 8ton/da çamur uygulamalarında belirlenmiştir. İnkübasyonun 60. gününde de başlangıca benzer şekilde dozlara bağlı artış saptanmış sadece Düzce ve Lara çamur uygulamalarında enzim aktivitesi 8ton/da dozunda azalma göstermiştir. İnkübasyonun son zamanında (120. gün) ise G. Antep, Elazığ, Lara, Bafra, Çiğili ve Yozgat Arıtma çamuru uygulama dozlarındaki artışa rağmen birbirine yakın değerlerde β - glukozidaz enzim aktivitesi belirlenmiştir. Ancak tüm çamur uygulamalarında belirlenen β - glukozidaz enzim aktivitesi kontrole göre fazla bulunmuştur ($P<0.05$). Ankara, K.mürsel ve Düzce çamur uygulamalarında ise inkübasyonun son zamanında beta glukozidaz enzim aktivitesi tüm çamur uygulamalarında kontrole göre fazla bulunmuş ve artan çamur dozuna paralel bir şekilde artmıştır. En yüksek β - glukozidaz enzim aktiviteleri 8ton/da çamur uygulamasında belirlenmiştir ($P<0.05$).

İnkübasyon zamanı boyunca Ankara uygulaması hariç diğer uygulamalarda zamana bağlı olarak β - glukozidaz enzim aktivitesindeki artış ve azalışlar belirli bir düzende gerçekleşmemiştir. Ankara çamuru uygulamasında ise inkübasyon süresi boyunca β -glukozidaz enzim aktivitesi artmaya devam etmiştir.

Arıtma çamurunun tüm dozları β -glukozidaz aktivitesi üzerinde uyarıcı bir etkiye sahip olmuştur. Toprakta C-döngüsünde yer alan önemli bir enzim olan glukozidazlar ile organik madde arasında yakın bir ilişki vardır. Toprakta glukozidazların hidroliz ürünleri toprak mikroorganizmaları için önemli enerji kaynağıdır (Bondick ve Dick 1999). Bizim çalışmamızdaki inkübasyon denemesinde de artan çamur dozuyla beraber

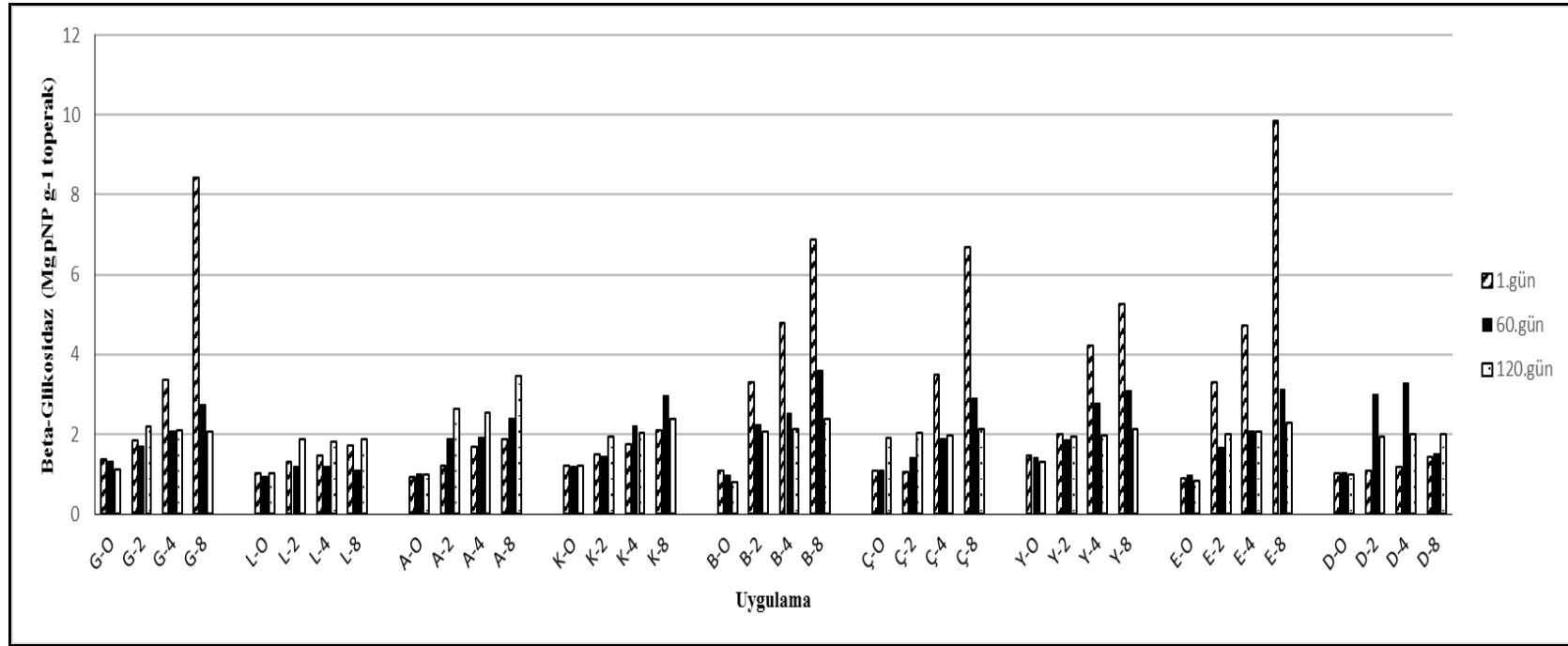
topraklardaki artan organik karbon miktarı enzim aktivitesinin artışında etken olmuştur. Arıtma çamurunun uygulama dozu ve buna bağlı organik madde kapsamının yanısıra içeriğindeki ağır metal konsantrasyonuna bağlı olarak da, β -glukozidazların farklı şekillerde etkilendiği belirtilmektedir. Eivazi ve Zakaria (1993); 5 ve 15 tha^{-1} dozlarında arıtma çamuru uyguladıkları topraklarda β -glukozidaz aktivitesinin azaldığını fakat 100 50-100 tha^{-1} arıtma çamuru dozlarında ise bu aktivitenin arttığını saptamışlardır. Araştırmacılar, yüksek dozdaki arıtma çamurunun yüksek organik madde ve besin maddesi içeriğinin, ağır metallerin engelleyici etkilerini maskelediklerini ileri sürmüşlerdir. Kızılkaya ve Bayraklı (2005), 9:1 C:N oranına sahip yüksek dozdaki arıtma çamurlarının (200-300 tha^{-1}) β -glukozidaz aktivitesini diğer uygulamalara oranla daha fazla arttırdığını saptamışlardır.

Çizelge 4.7 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların Beta glukozidaz enzim aktivitesi ve solunum üzerine etkileri

Uygulama (ton/da)	Beta Glikosidaz mg pNP g ⁻¹ toprak			Solunum µg CO ₂ /g toprak/24 h		
	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün
Gantep-O	1,369D	1,339D	1,130B	177,71C	180,04C	157,82D
Gantep-2	1,856C	1,704C	2,196A	214,99B	219,65BC	216,82C
Gantep-4	3,372B	2,097B	2,095A	233,53B	245,53B	272,53B
Gantep-8	8,417A	2,749A	2,079A	273,36A	315,36A	322,79A
LSD> 0.05	0,350			25,085		
Lara-O	1,023D	0,956D	1,025B	115,14C	117,47C	145,35D
Lara-2	1,318C	1,211B	1,866A	131,56BC	137,56BC	209,67C
Lara-4	1,452B	1,192A	1,801A	148,63B	165,97B	397,19A
Lara-8	1,707A	1,101C	1,864A	186,37A	202,70A	326,76B
LSD> 0.05	0,085			25,942		
Ank-O	0,938D	1,001D	1,001C	132,74B	134,41B	121,62D
Ank-2	1,206C	1,880C	2,641B	140,01B	139,01B	182,12C
Ank-4	1,687B	1,924B	2,557B	139,12B	157,12B	207,01B
Ank-8	1,872A	2,398A	3,449A	163,76A	187,76A	283,33A
LSD> 0.05	0,087			22,777		
Kmürsel-O	1,228D	1,210CD	1,226D	99,68B	102,01BC	129,04D
Kmürsel -2	1,499C	1,455C	1,942C	114,24AB	117,58B	155,78C
Kmürsel -4	1,748B	2,217B	2,038B	123,16A	128,16A	175,16B
Kmürsel -8	2,113A	2,973A	2,368A	123,28A	136,28A	195,98A
LSD> 0.05	0,083			15,915		
Bafra-O	1,073D	0,961C	0,804B	103,51 ÖD	113,84B	147,44C
Bafra-2	3,291C	2,254BC	2,057AB	115,18 ÖD	124,51A	188,08B
Bafra-4	4,800B	2,519B	2,138A	122,09 ÖD	131,76A	229,04A
Bafra-8	6,866A	3,615A	2,392A	121,91 ÖD	136,91A	235,72A
LSD> 0.05	0,271			17,320		
Çigili-O	1,081C	1,106CD	1,919AB	35,54C	41,20C	75,95D
Çigili-2	1,060C	1,404C	2,038A	59,90A	56,90B	115,38C
Çigili-4	3,485B	1,888B	1,975AB	45,74B	60,41A	153,39B
Çigili-8	6,692A	2,904A	2,141A	46,94B	67,61A	257,24A
LSD> 0.05	0,284			9,230		
Yozgat-O	1,458D	1,427D	1,322B	116,87 ÖD	123,87B	169,90D
Yozgat-2	2,002C	1,865C	1,930A	127,63 ÖD	136,96B	206,19C
Yozgat-4	4,228B	2,766B	1,961A	118,30 ÖD	143,96A	252,64B
Yozgat-8	5,272A	3,095A	2,133A	112,40 ÖD	154,82A	311,41A
LSD> 0.05	0,241			16,510		
Elazığ-O	0,887D	0,983D	0,847B	139,84B	155,84C	121,60B

Çizelge 4.7 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların Beta glukozidaz enzim aktivitesi ve solunum üzerine etkileri (devam)

Elazığ-2	3,310C	1,684C	2,000A	183,68AB	192,02B	162,74B
Elazığ-4	4,718B	2,082B	2,060A	173,83AB	226,17B	220,58A
Elazığ-8	9,845A	3,133A	2,279A	220,40A	302,07A	247,15A
LSD> 0.05	0,301			48,178		
Düzce-O	1,009C	1,037D	1,000C	82,00B	88,66B	74,67C
Düzce-2	1,090C	2,986B	1,946B	87,18B	88,67B	83,97C
Düzce-4	1,173B	3,297A	2,011A	90,69B	94,67B	100,74B
Düzce-8	1,441A	1,512C	1,994B	105,17A	120,00A	156,98A
LSD> 0.05	0,072			10,800		



Şekil 4.16 İnkübasyon denemesi uygulamalarının Beta Glukozidaz enzim aktivitesi üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

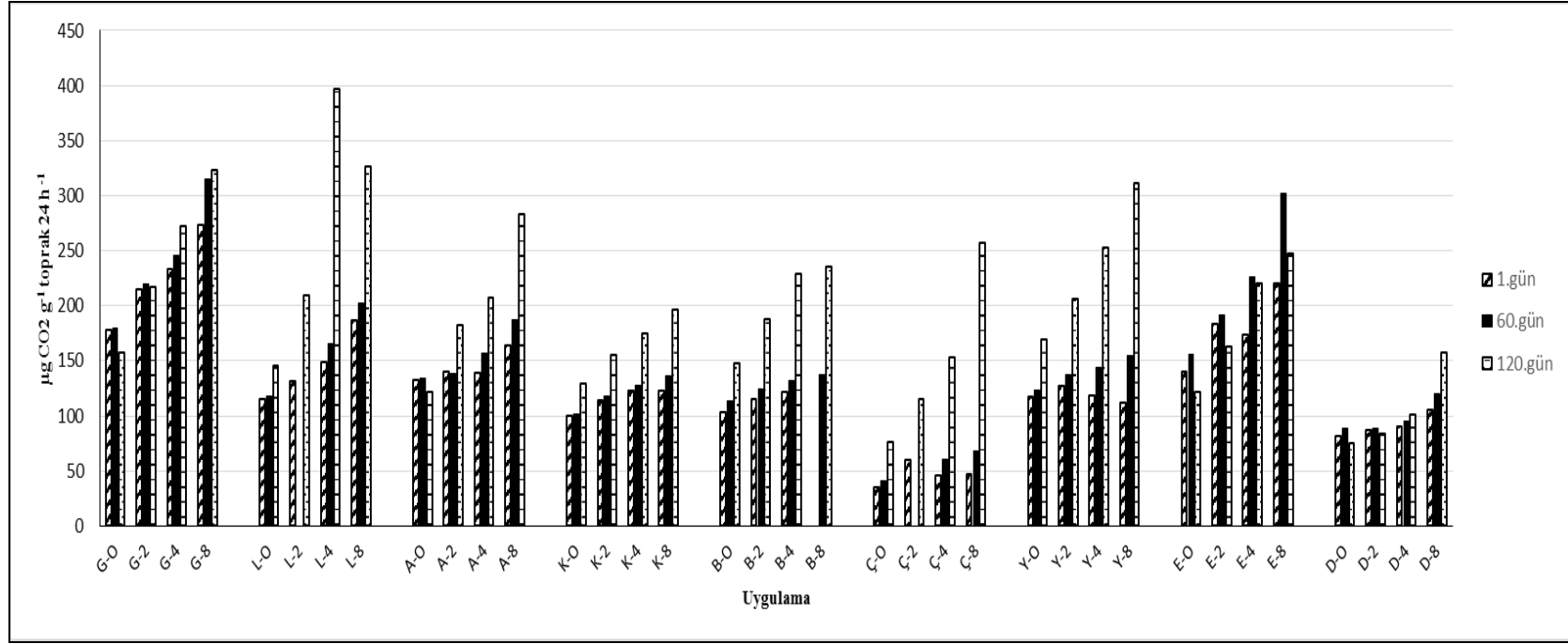
4.1.12 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin CO₂ çıkışı (toprak solunumu) miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen CO₂ çıkışı değerleri çizelge 4.7’de verilmiştir. İnkübasyon zamanına bağlı olarak CO₂ çıkış miktarlarındaki değişim incelendiğinde; inkübasyonun 1. gününde Bafra ve Yozgat çamur uygulamaları hariç diğer çamur uygulamalarında artan doza bağlı olarak CO₂ çıkış miktarları artış göstermiştir. Yozgat ve Bafra çamur uygulama dozları ile kontrol arasında belirlenen farklar ise iztastiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ankara ve Düzce çamur uygulamalarında da kontrol ile 2 ve 4 ton7da çamur uygulamaları arasında önemli bir fark belirlenmemiş, en yüksek çamur dozunda belirlenen yüksek CO₂ çıkış miktarı $P<0.05$ düzeyinde anlamlı bulunmuştur. İnkübasyonun 2. Ve 3. Dönemlerinde ise Bafra ve Yozgat çamuru da dahil olmak üzere tüm çamur uygulamalarında artan çamur dozuna bağlı olarak toprakların CO₂ çıkış miktarlarında $P<0.05$ düzeyinde önemli artışlar belirlenmiştir.

İnkübasyon zamanı boyunca bütün çamur uygulamalarında inkübasyon süresi boyunca CO₂ çıkışı artmaya devam etmiştir. Topraklardaki organik C’un heterotrofik mikroorganizmalar tarafından C ve enerji kaynağı olarak kullanılması sonucu son ürün olarak ortaya çıkan CO₂ çıkışı miktarı, toprak organik C’unun mineralizasyonu hakkında sağlıklı ve önemli bilgiler vermektedir. CO₂ çıkışı aynı zamanda toprak solunumu olarak da bilinmektedir. Mikrobiyal biyokütlenin aksine bazal solunum, mikrobiyalı korumak için yarıyışlı karbon ve onun toprakta değişmesinin yansıtıcısı olarak kabul edilmiştir (Insam vd. 1991).

Araştırma sonuçlarına göre, arıtma çamuru uygulamaları toprak solunumu üzerinde olumlu bir etki yaratmıştır. Bu etki, topraktaki organik madde ve besin maddesi içeriğindeki artışın, mikrobiyal aktiviteyi uyarmasından kaynaklanmıştır. Uyarılan mikrobiyal aktivite daha büyük bir mikrobiyal biyokütle döngüsüne ve sonuçta solunumun artmasına neden olmaktadır (Chander ve Brookes 1993, Leita vd. 1995). Killi ve kumlu topraklara arıtma çamuru uygulayan Jahnel (1997), uygulanan çamurun artan dozlarına bağlı olarak toprak solunumunda önemli artışlar gözlemiş, uyguladığı

çamurdaki yüksek Cr içeriğinin bile toprak solunumunu önemli bir şekilde etkilemediğini, bu durumun organik madde ve besin maddelerinin toprak mikroorganizmaları üzerindeki uyarıcı etkisinden kaynaklanabileceğini ileri sürmüştür. Stamaatiadis vd. (1999), arıtma çamuru uygulanmış topraklarda kontrol toprağa oranla 4 kat daha fazla toprak solunumu belirlemişlerdir.



Şekil 4.17 İnkübasyon denemesi uygulamalarının toprak solunumu üzerine etkiler

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

4.1.13 İnkübasyon süresi boyunca toprak örneklerinin mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) miktarlarındaki değişimler

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) değerleri çizelge 4.8’de verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre, topraklardaki MBC üzerine toprağa uygulanan arıtma çamurlarının etkisi istatistikî olarak $P<0.05$ seviyesinde önemli bulunmuştur.

Zamana bağlı değişim incelendiğinde; kontrol hariç tüm çamur çeşitlerinin her üç dozunda da inkübasyon zamanına bağlı olarak MBC miktarları artış göstermiştir, kontrol uygulamasında ise zamanla MBC azalmıştır. İnkübasyonun sonunda (120. gün) ise, Ankara ve Düzce çamur uygulamaları dışında diğer 7 farklı çamur çeşidinin uygulandığı topraklarda en yüksek MBC miktarı en yüksek çamur dozunda (8 ton/da) belirlenmiştir. Ankara ve Düzce çamur uygulamalarında ise kontrolün dışındaki diğer uygulamalar aynı istatistikî grup içerisinde yer almalarına karşın 4 ton/da çamur uygulaması en yüksek değere (8 ton/da uygulamasına yakın bir biyokütle) yakın olmuştur.

İnkübasyonun başlangıcında, Gaziantep, Lara, Ankara, Karamüresel ve Düzce uygulamalarının 2 ve 4 ton/da çamur uygulamaları ile kontrol topraklarında belirlenen MBC’ler arasında fark belirlenmemiş, en yüksek doz olan 8ton/da çamur uygulamasında ise $P<0.05$ düzeyinde önemli biyokütle artışı belirlenmiştir. İnkübasyonun başlangıcında, Bafra, Çiğili, Elazığ ve Yozgat uygulamalarında ise bütün çamur dozları ilavelerinde MBC kontrole göre fazla belirlenmiş ve çamur dozuna bağlı olarak biyokütle miktarları artmıştır ($P<0.05$). İnkübasyonun 2. ve 4. aylarında ise bütün çamur dozlarında MBC kontrol uygulamasına göre fazla belirlenmiş, artan çamur dozuna bağlı olarak da biyokütle karbonu artmıştır.

Arıtma çamurundaki yüksek yarayışlı C ve besin maddesi içeriğinin toprak mikroorganizmalarının aktivitesini muhtemelen uyarmasından dolayı, tüm çamur uygulama topraklarında MBC miktarı artmıştır. Böyle bir sonucun ortaya çıkmasında; kullanılan arıtma çamurlarının TKKY tarafından izin verilen değerlerin altında ağır metal konsantrasyonlarına sahip olması etkili olmuştur. Ağır metal içerikleri düşük olan

arıtma çamurları ile çalışan birçok araştırmacı da benzer sonuçları bulmuştur (Fließbach vd. 1994, Jahnel 1997, Banerjee vd. 1997, Lorenzi ve Lambais, 2001, Fernandez vd. 2005). Ağır metallerce zengin arıtma çamurlarının ise mikrobiyal biyokütle üzerinde önemli engelleyici etkilerine dair birçok çalışma mevcuttur (Chander ve Brookes 1991, Khan ve Seullion 2000).

Mikrobiyal biyokütle kavramı topraktaki canlı mikroorganizma ağırlığı anlamına gelmekte olup C, N, S ve P gibi besin maddelerinin yarayışlı bir deposu ve toprak organik maddesindeki dönüşümlerin göstergesidir (Jenkinson ve Ladd 1981). Mikrobiyal biyokütle, toplam toprak N ve C'unun çok küçük bir miktarını temsil etmesine rağmen azot ve diğer bitki besin maddelerinin mineralizasyonu ile sonuçlanan hızlı döngüsü nedeni ile bitkilerin beslenmesinde önemli katkıları olmaktadır. Mikrobiyal biyokütle, organik karbona göre toprak verimliği için daha iyi bir indikatör olarak kabul edilmiştir, çünkü toprağın yönetimindeki değişimlere karşı daha hızlı ve hasas yanıt verir (Powlson et al., 1987; Garcia et al., 2000). Genellikle, kompost ve kompost + azot karışımı uygulanan topraklarda, mikrobiyal karbon oranında belirgin artış görülür. Bunun nedeni ise karbon substratındaki artış ve bu artışın mikrobiyal büyümeyi teşvik etmesinden kaynaklanmaktadır (Pascual vd. 1997, Garcia-gil vd. 2000).

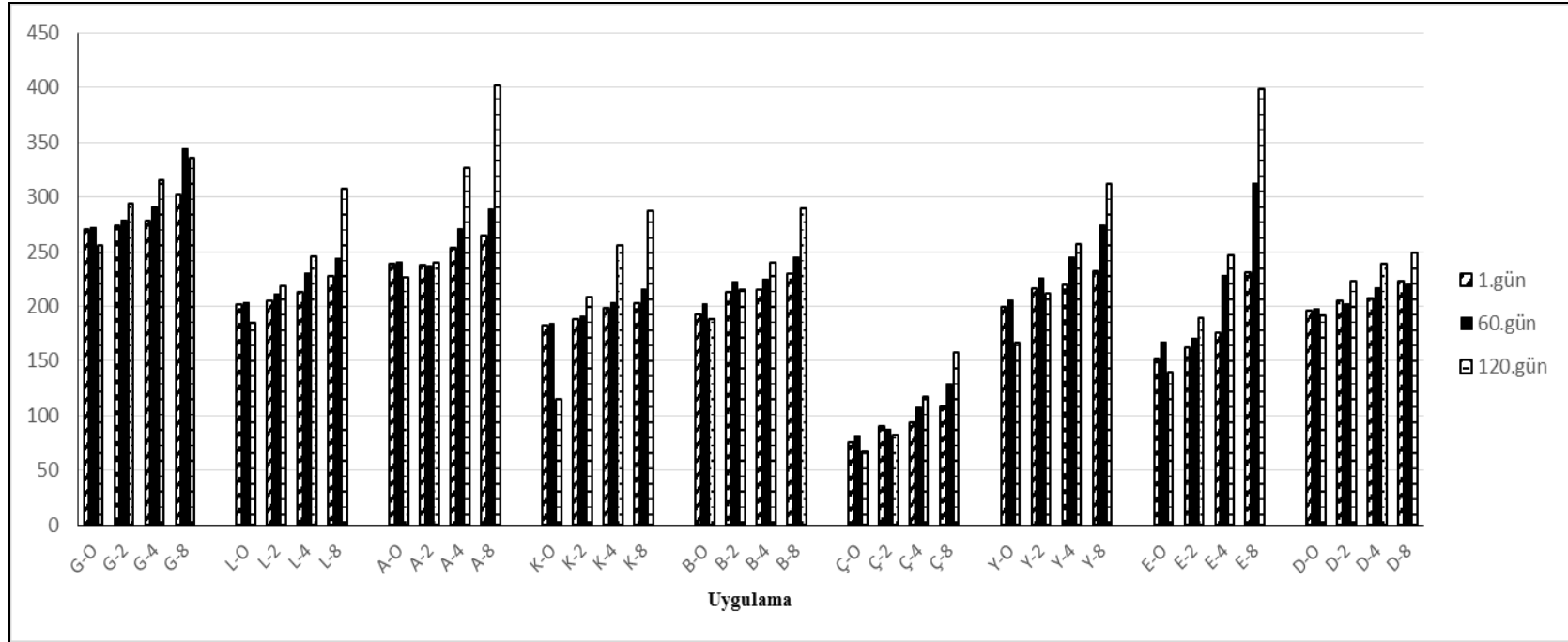
Bir kez yapılan uygulamaların mikrobiyal biyokütle üzerinde olumlu (Dar 1996, Barbarick vd. 2004), uzun yıllar yapılan uygulamaların ise olumsuz etkilere sahip olduğu (Stoven vd. 2005, Balzer ve Ahrens 1990) araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Mikroorganizmalar için ağır metallerin toksik eşik değeri jeolojik kökeninin çok az üzerindedir (UBA 1998). Arıtma çamurlarındaki ağır metallerin çoğu organik maddeye bağlıdır ve çamurun yavaş çürümesi sonucu çözünebilir şekilde serbest bırakılabilir ve böylece biyolojik alınabilir duruma geçerler (McBride 1995). Wilke vd. (1995) ise, mikroorganizmaların ağır metal stresine karşı dayanıklılık mekanizmaları geliştirdiklerini göstermişlerdir.

Çizelge 4.8 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların mikrobiyal biyokütle karbonu ve qCO₂ üzerine etkileri

Uygulama (ton/da)	Biyokütle Karbonu			qCO ₂		
	µg CO ₂ /g toprak/24 h			(CO ₂ /MBC)		
	1. gün	60. gün	120. gün	1. gün	60. gün	120. gün
Gantep-O	270,00B	272,33C	256,00C	0,66B	0,66B	0,62B
Gantep-2	273,33B	278,33BC	293,67B	0,79B	0,79B	0,74B
Gantep-4	278,33B	291,33B	315,33AB	0,84A	0,84A	0,86A
Gantep-8	302,00A	344A	335,33A	0,91A	0,92A	0,96A
LSD> 0.05	19,587					
Lara-O	201,33B	203,67C	184,33D	0,57C	0,58C	0,79B
Lara-2	205,00B	211,00C	219,00C	0,64B	0,65B	0,96BC
Lara-4	213,00B	230,33B	245,67B	0,70B	0,72B	1,62A
Lara-8	227,33A	243,67A	307,33A	0,82A	0,83A	1,06B
LSD> 0.05	11,577					
Ank-O	239,00B	240,67B	226,67C	0,56ÖD	0,56 ÖD	0,54B
Ank-2	238,00B	237,00B	240,33C	0,59ÖD	0,59 ÖD	0,76A
Ank-4	253,00AB	271,00A	326,67B	0,55ÖD	0,58 ÖD	0,63B
Ank-8	264,33A	288,33A	402,00A	0,62ÖD	0,65 ÖD	0,70A
LSD> 0.05	17,858					
Kmürsel-O	182,33B	184,67B	114,67D	0,55 ÖD	0,55 ÖD	1,13A
Kmürsel -2	188,00B	191,33B	208,00C	0,61 ÖD	0,61 ÖD	0,75B
Kmürsel -4	198,67A	203,67AB	255,67B	0,62 ÖD	0,63 ÖD	0,69B
Kmürsel -8	202,33A	215,33A	286,67A	0,61 ÖD	0,63 ÖD	0,68B
LSD> 0.05	10,483					
Bafra-O	192,33C	202,67C	188,33D	0,54 ÖD	0,56 ÖD	0,78B
Bafra-2	213,33B	222,67B	215,00C	0,54 ÖD	0,56 ÖD	0,87A
Bafra-4	215,00B	224,67B	240,00B	0,57 ÖD	0,59 ÖD	0,95A
Bafra-8	230,00A	245,00A	289,67A	0,53 ÖD	0,56 ÖD	0,81B
LSD> 0.05	11,050					
Çiğili-O	75,67C	81,33C	67,67D	0,47B	0,51B	1,12C
Çiğili-2	90,00B	87,00C	82,00C	0,67A	0,65A	1,41B
Çiğili-4	93,00B	107,67B	117,00B	0,49B	0,56A	1,31BC
Çiğili-8	108,33A	129,00A	157,67A	0,43B	0,52B	1,63A
LSD> 0.05	8,723					
Yozgat-O	199,00B	206,00D	167,00D	0,59A	0,60 ÖD	1,02 ÖD
Yozgat-2	216,67A	226,00C	211,33C	0,59A	0,61 ÖD	0,98 ÖD
Yozgat-4	219,67A	245,33B	256,67B	0,54A	0,59 ÖD	0,98 ÖD
Yozgat-8	232,00A	274,33A	311,67A	0,48B	0,56 ÖD	1,00 ÖD
LSD> 0.05	16,459					
Elazığ-O	151,67C	167,67C	139,33D	0,92B	0,93B	0,87A

Çizelge 4.8 İnkübasyon denemesi uygulamaların toprakların mikrobiyal biyokütle karbonu ve qCO₂ üzerine etkileri (devam)

Elazığ-2	162,33BC	170,67C	188,67C	1,13A	1,13A	0,86A
Elazığ-4	176,00B	228,33B	247,00B	0,99B	0,99B	0,89A
Elazığ-8	230,33A	312,00A	399,00A	0,96B	0,97B	0,62B
LSD> 0.05	14,099					
Düzce-O	196,00B	197,65B	191,00C	0,42 ÖD	0,45AB	0,39B
Düzce-2	205,00B	201,71B	222,67B	0,43 ÖD	0,44B	0,38B
Düzce-4	207,33B	217,03A	238,33A	0,44 ÖD	0,44B	0,42B
Düzce-8	222,67A	219,84A	248,67A	0,47 ÖD	0,55	0,63A
LSD> 0.05	10,869			0.094		



Şekil 4.18 İnkübasyon denemesi uygulamalarının mikrobiyal biyokütle karbonu üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

4.1.14 Mikrobiyal metabolik katsayı - qCO₂ oranı (mikrobiyal solunum: mikrobiyal biyokütle)

İnkübasyon süresi boyunca arıtma çamuru ilave edilmiş toprak örneklerinde belirlenen qCO₂ oranı (CO₂/MBC) değerleri çizelge 4.8’de verilmiştir.

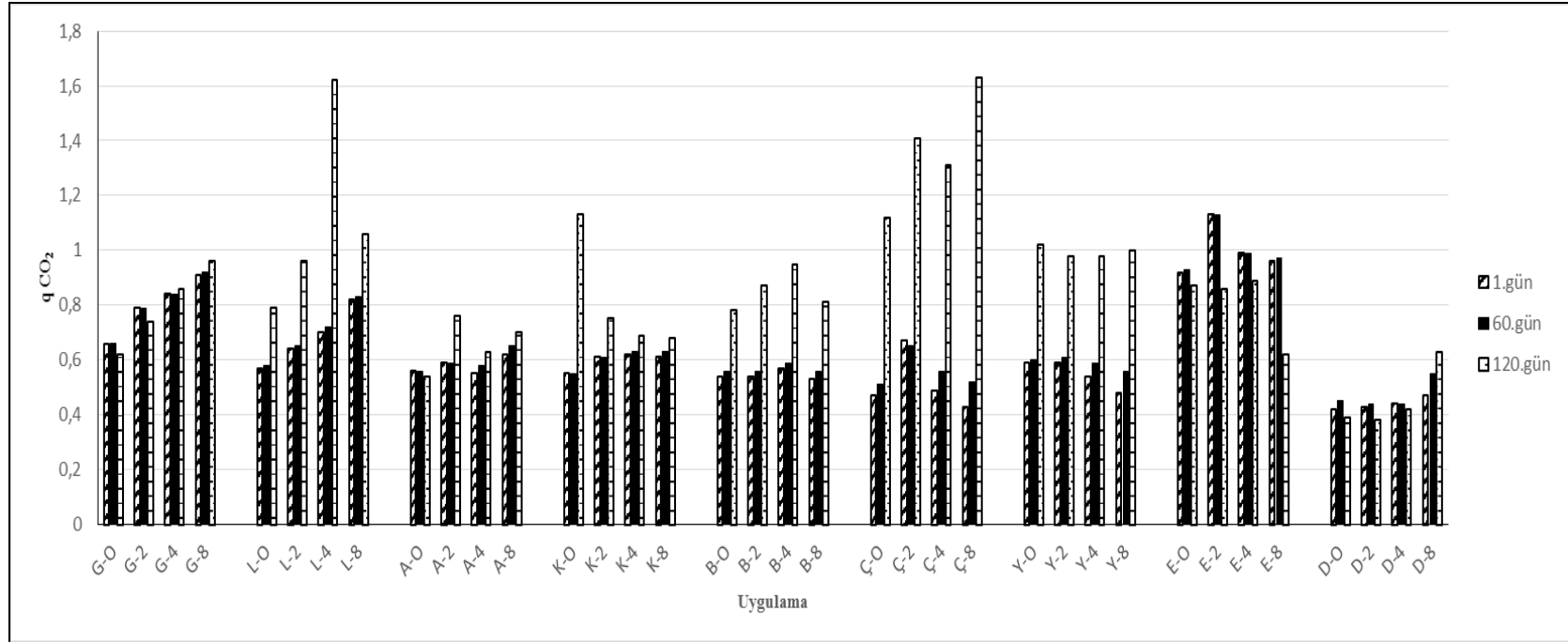
Gaziantep ve Lara çamur uygulamasında, inkübasyonun her 3 zamanında da qCO₂ oranı en düşük kontrol toprağında belirlenmiş ve artan çamur uygulama dozuna bağlı olarak da qCO₂ oranı artmıştır (P<0.05). Ankara, Karamüresel ve Bafra çamur uygulamalarının kontrol ve uygulama dozları arasında qCO₂ oranı bakımından inkübasyonun başlangıç ve 60. günlerinde istatistiksel olarak önemli bir fark belirlenmemiş, inkübasyonun son döneminde (120. gün) ise çamur uygulamaları ile kontrol arasında P<0.05 düzeyinde önemli fark belirlenmiş, bu durum Ankara ve Bafra çamuru uygulanmış topraklarda çamur dozuna bağlı artış, Karamürsel çamuru uygulamalarında ise azalış şeklinde olmuştur. Çiğili çamuru uygulamasında en düşük qCO₂ oranı 1. ve 2. dönemlerde kontrol ve en yüksek çamur uygulamalarında belirlenmiş, inkübasyonun 120. gününde ise kontrol topraklarında yine en düşük qCO₂ oranı belirlenmiş ancak en yüksek çamur uygulanmış topraklarda qCO₂ oranı artış göstermiştir (P<0.05). Elazığ çamur uygulamasında ise tüm zamanlarda en düşük çamur dozu uygulanmış topraklarda en yüksek qCO₂ değeri belirlenmiş, diğer çamur dozları ile kontrol topraklarının qCO₂ değerleri aynı gruba girmiştir (P<0.05). Düzce çamur uygulamasında ise, inkübasyonun başlangıcında uygulamalar arasında fark belirlenmemiş, diğer 2 inkübasyon periyodunda ise en yüksek çamur dozunda qCO₂ oranı P<0.05 düzeyinde önemli artış göstermiştir.

Yüksek CO₂’in ekosistemdeki C tutulması üzerine uzun süreli etkisi ağırlıklı olarak mineral topraklardaki C tutulmasına etki eden faktörlere ve karbonun diğer besin elementleriyle etkileşimine bağlıdır (Cardon 1996). Topraktaki mikrobiyolojik parametreler mikrobiyal popülasyonlar ve aktivitelerinin farklı ekosistemlerde besin element döngüsündeki önemini belirlemek için indeks şeklinde kombine edilmektedirler (Nannipieri, 1994). Brookes (1995) içsel kontrolü sağlamak amacıyla mikrobiyal biyokütle karbonunu toprak organik maddesinin yüzdesiyle orantılayarak kombine etmeyi önermiştir. Dilly ve Munch (1998) ve Brookes (1995), mikrobiyal aktivite ve

populasyon ölçümlerinin kombine edilmesinin (mikrobiyal metabolik katsayı- qCO_2) toprak kirliliğini ortaya koymada aktivite ve populasyonlarını ayrı ayrı değerlendirmekten daha hassas sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

qCO_2 oranı literatürde yaygın olarak kullanılmıştır ve orijinalinde Odum's un ekosistem teorisine dayanmaktadır. Bu teorinin ekosistemin bozulması veya gelişmesi üzerine biyoindikatör olarak kullanımının güvenilirliği bazı araştırmacılar tarafından tartışılıyor olmasına rağmen bu indikatör mikrobiyal biyokütlenin karbon kaynaklarından faydalanma etkinliğini ve toprak mikroorganizmaları için substrat kısıtlama derecesini belirleyebilmektedir (Wardle ve Ghani 1995, Dilly ve Munch 1998). Metabolik katsayısı, aslında her biyokütle ve zaman ünitesinde CO_2 -C üretimini ifade eder ve bu nedenle toprak solumundan daha çok kullanışlıdır (Santruskova and Straskraba 1991). Aynı parametre çoğunlukla verimlilik üzerine yapılan araştırmalarda (Insam ve Haselwandter 1989) ve ekim nöbeti incelemesinde kullanılmaktadır (Anderson ve Domsch 1990). qCO_2 oranının 2'den büyük olması enerji olarak daha az mikrobiyal kominite varlığının göstergesidir. Yüksek qCO_2 değeri organik substratların mikrobiyal biyokütle tarafından daha az verimli olduğunun göstergesidir (Anderson 2003, Pinzari vd. 1999).

Yukarıda yapılan açıklamalar ışığında, inkübasyon denemesine tabi tutulan arıtma çamurlarından Gaziantep, Lara, Çiğili Düzce çamuru uygulanmış topraklarda yüksek çamur dozlarında qCO_2 oranının diğer uygulamalara göre yükselmesi bu topraklarda çamurun mikrobiyal biyokütle tarafından daha az verimli olduğunu göstermektedir. Buna karşın Yozgat çamuru uygulamaları toprağın biyolojik verimliliğini olumlu yada olumsuz yönde etkilemediği, Karamürsel çamurunda ise arıtma çamuru uygulamaları ile qCO_2 oranının kontrole göre azalarak topraklarda biyolojik verimliliğin arttığı görülmektedir. Bu konuda yapılan diğer araştırma sonuçları bizim sonuçlara benzer veya tersi bulgular içermekte ve genellikle arıtma çamuru ilavesinin ağır metal miktarı artışına paralel olarak qCO_2 oranını artırdığı ve toprakların mikrobiyal aktivitelerini strese soktuğu yönündedir. Chander ve Brookes (1991b), arıtma çamurundaki ağır metal miktarı arttıkça qCO_2 oranının da yükseldiğini, buna karşın Baath vd. (1991), ağır metal konsantrasyonu arttıkça qCO_2 oranının düştüğünü belirlemişlerdir.



Şekil 4.19 İnkübasyon denemesi uygulamalarının qCO_2 oranı üzerine etkileri üzerine etkileri

G- Gaziantep; L- Lara; A-Ankara; K-Karamürsel; B-Bafra, Ç-Çiğli; Y-Yozgat; D-Düzce arıtma çamuru; 0-Kontrol; 2- 2ton/da; 4- 4ton/da; 8- 8ton/da

İnkübasyon denemesi sonuçları özetlenecek olursa;

1. Toprakların çoğunluğunda arıtma çamurunun 2 ve 4 t/da uygulama düzeyleri ile kontrol arasında pH değişimi açısından fark çıkmamıştır. Bu değişim, mineralizasyon süreci ile meydana gelen asitlik unsurlarının hem toprağın sahip olduğu yüksek tampon kapasitesi ile nötralizasyonu, hem de arıtma çamurunun sahip olduğu değişebilir iyonlarla tamponlanması ile açıklanabilir. Toprağın tamponlama kapasitesi sadece Elazığ ve G.Antep topraklarında 8 t/da uygulama düzeyi ile aşılmıştır.
2. Denemenin yürütüldüğü her üç dönemin ortalaması dikkate alındığında, EC değerinde istatistiksel olarak bir artış saptanmışsa da, bu artış bitki yetiştiriciliği için kısıtlayıcı bir tuz stresi düzeyine ulaşmamıştır.
3. Artan dozlarda çamur ilavesi denemeye alınan bölge topraklarının kireç kapsamı ve kireç içeriği sınıfında herhangi bir değişiklik oluşturmamıştır.
4. Denemeye alınan toprakların tamamında arıtma çamuru ilavesi doza bağlı olarak toprakların organik madde miktarını artırmıştır.
5. Arıtma çamuru uygulama düzeyine bağlı olarak toprakların KDK değerleri artış göstermiş, bu artış en fazla Düzce ve Ankara çamuru uygulanmış topraklarda belirlenmiştir.
6. Toprakların hepsinde ilave edilen çamur dozuna bağlı olarak ilk bir aylık dönemde alınabilir fosfor miktarları $P < 0.05$ düzeyinde önemli artış göstermiştir. Bu da toprak+çamur kapsamında fosforun bir kısmının humifikasyon periyodu boyunca mineralizasyona bağlı olarak alınabilir forma dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. İnkübasyonun ilerleyen dönemlerinde ise mineralizasyona bağlı olarak P değerleri azalmış, çamur dozları ile kontrol arasındaki fark ise önemini korumaya devam etmiştir.
7. Çamur ilave edilmesinin toprakların değişebilir K^+ değerleri üzerinde yapmış olduğu etki istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların K^+ değerleri zamana bağlı olarak azalma göstermiş ancak Düzce toprakları hariç diğer topraklarda çamur ilavesiyle toprağın değişebilir K^+ miktarlarındaki çok hafif artış veya değişimler önemli bulunmamıştır. Düzce çamuru ilave edilen Düzce topraklarında ise artan çamur dozuna bağlı olarak toprağın K değişim miktarları

$P < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Organik materyal ilavesi toprakların yarayışlı K miktarlarını olumsuz etkileyebilmekte, organik madde ile K arasında negatif ilişki bulunmaktadır. Düzce çamuru uygulamasında organik maddenin potasyumun yarayışlılığı üzerine negatif etkisinin muhtemelen olmadığı bu nedenle de K miktarının çamur dozuna bağlı olarak toprakta artmış olabileceği düşünülmektedir.

8. Arıtma çamuru ilavesi topraktan alınabilir Zn miktarını artırmıştır. Özellikle Ankara çamuru ilave edilmiş bölge toprağında alınabilir Zn miktarı kontrol toprağında 0,04 mg/kg iken 8ton/da çamur uygulanmış toprakta 14,29 mg/kg'a yükselmiştir. Benzer şekilde Gaziantep uygulamasında da Zn miktarındaki artış dikkat çekicidir. Bunun nedeni sözkonusu çamurların Zn miktarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer çamur uygulamalarında da benzer şekilde artan çamur dozuna bağlı olarak ekstrakte edilebilir Zn miktarları artmıştır.
9. Alınabilir Pb değerleri Gaziantep çamur uygulamasında özellikle inkübasyonun son döneminde (120. gün) önemli miktarda artış göstermiştir. İzmir, Elazığ ve kısmen Ankara çamuru uygulamalarında doza bağlı Pb miktarlarında artış belirlenmiş, geri kalan çamurlarda ise arıtma çamuru uygulaması doza bağlı olarak alınabilir Pb miktarını istatistiki olarak önem arz edecek şekilde etkilememiştir. Organik maddenin varlığı alınabilir metal miktarını artırmakta ve çamurun en yüksek dozunda meydana gelen alınabilir metal miktarlardaki artışın nedeninin organik madde miktarının artışından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.
10. Antalya-Lara ve Karamürsel hariç diğer çamur uygulamalarında toprakların alınabilir Cd içerikleri inkübasyonun 1. ayında artan çamur dozuna bağlı olarak artış göstermiş, inkübasyonun 2. ve 3 aylarında ise kontrol ile dozlar arasında fark belirlenmemiştir.
11. Çamur uygulanmış toprakların alınabilir Ni içerikleri doza bağlı olarak (Elazığ ve Lara çamur uygulamaları hariç) artış göstermiş, zamana bağlı olarak ise azalmıştır (GASKİ hariç). Gaziantep çamur uygulamasında bunun tersi olarak inkübasyonun 3. ayında alınabilir Ni miktarları artmaya devam etmiştir.

12. Toprakların Cr içerikleri okuma limitlerinin altında bulunmuş ve çamur uygulamaları ile kontrol arasında bir fark belirlenmemiştir.
13. Toprakların alınabilir Cu değerleri Ankara, Samsun-Bafra ve İzmir-Çiğli çamur uygulamalarında doza ve zamana bağlı artış göstermiş, diğer çamurlarda ise doza bağlı artışlar ve zamana bağlı azalışlar belirlenmiştir. Lara ve Düzce çamur uygulamalarında ise sadece inkübasyonun 1 ayında doza bağlı alınabilir Cu miktarları $P < 0.05$ düzeyinde önemli artış göstermiş, inkübasyonun 2. ve 3. aylarında ise kontrol ve çamur uygulamaları arasındaki fark önemli bulunmamıştır.
14. Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı meydana gelen bu artışlara rağmen toprakların ağır metal içerikleri yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında belirlenmiştir.
15. İnkübasyon zamanı boyunca Ankara uygulaması hariç diğer uygulamalarda zamana bağlı olarak β -glukozidaz enzim aktivitesindeki artış ve azalışlar belirli bir düzende gerçekleşmemiştir. Ankara çamuru uygulamasında ise inkübasyon süresi boyunca β -glukozidaz enzim aktivitesi artmaya devam etmiştir.
16. Arıtma çamurunun tüm dozları MBC üzerinde uyarıcı bir etkiye sahip olmuştur. Kontrol hariç tüm çamur çeşitlerinin tüm çamur dozlarında inkübasyon zamanına bağlı olarak MBC miktarları artış göstermiştir, kontrol uygulamasında ise zamanla MBC azalmıştır. İnkübasyonun sonunda (120. gün) ise, Ankara ve Düzce çamur uygulamaları dışında diğer 7 farklı çamur çeşidinin uygulandığı topraklarda en yüksek MBC miktarı en yüksek çamur dozunda (8ton/da) belirlenmiştir.
17. Arıtma çamuru uygulamaları mikrobiyal biyokütle karbonunda olduğu gibi, toprak solunumu üzerinde de olumlu bir etki yaratmıştır. Bu etki, topraktaki organik madde ve besin maddesi içeriğindeki artışın, mikrobiyal aktiviteyi uyarmasından kaynaklanmıştır.
18. İnkübasyon denemesine tabi tutulan arıtma çamurlarından Gaziantep, Lara, Çiğili ve Düzce çamuru uygulanmış topraklarda yüksek çamur dozlarında qCO_2 oranının diğer uygulamalara göre yükselmesi bu topraklarda çamurun mikrobiyal biyokütle tarafından daha az verimli olduğunu, biyolojik verimin azaldığını göstermektedir. Yozgat çamuru uygulamaları toprağın biyolojik

verimliliğini olumlu yada olumsuz yönde etkilememiş, Karamürsel çamurunda ise arıtma çamuru uygulamaları ile qCO_2 oranının kontrole göre azalarak topraklarda biyolojik verimliliğin arttığı görülmüştür.

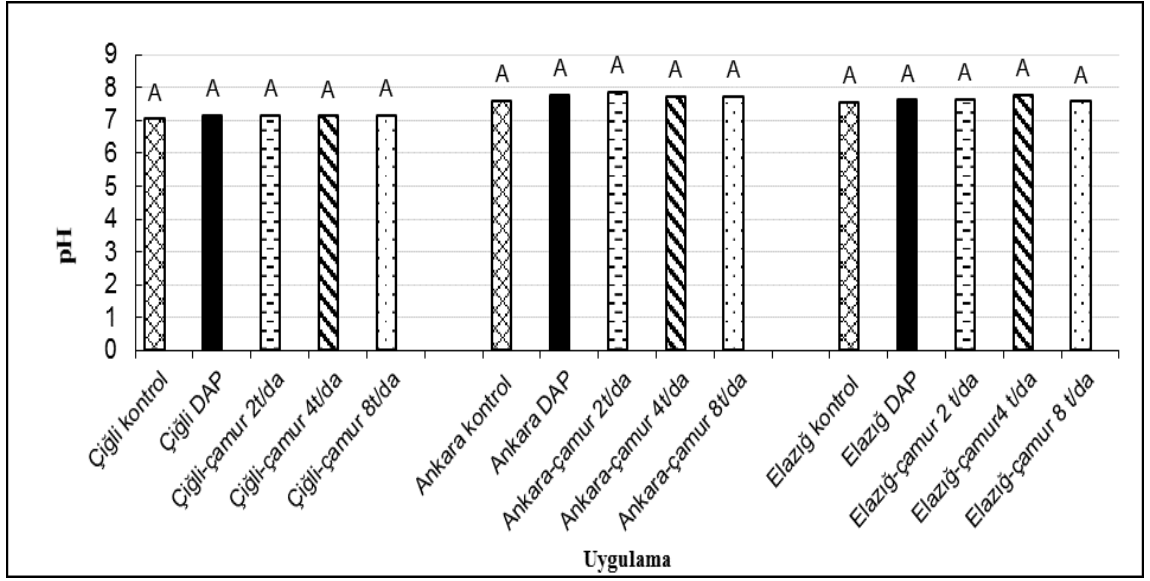
19. Toprağa uygulanacak arıtma çamurunun özellikleri (tuz içeriği, pH, organik madde, kireç, element miktarları) özellikle yüksek dozlarda uygulandığında toprağın pH, tuz, OM, ağır metal gibi özellikleri üzerinde etkili olmaktadır.
20. Arıtma çamurunun uygulanacağı toprağın başta pH olmak üzere bünye, KDK vb özellikleri de çamurdan gelebilecek ağır metallerin toprakta parçalanması ve ayrışmasında önemli bulunmaktadır.
21. Arıtma çamurunun ve uygulanacağı toprağın özellikleri mutlaka göz önüne alınarak uygulama yapılmalıdır.

4.2 Sera Denemesi Sonuçları

İnkübasyon denemesini takiben arıtma çamurlarının bitki gelişimi üzerine etkisini ortaya koyabilmek amacıyla kontrollü koşullarda yürütülen sera denemesi sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.2.1 Sera denemesi topraklarının pH miktarlarındaki değişimler

Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen pH değerleri çizelge 4.9’de verilmiştir. Her bir çamur uygulamasını ayrı ayrı değerlendirecek olursak, Sera denemesinde kullanılan her üç arıtma çamuru uygulamasında (İzmir-Çiğli, Ankara ve Elazığ) artan çamur dozuyla beraber kontrole göre pH değerleri artmış, arıtma çamur uygulamalarına bağlı olarak belirlenen pH artışları istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.



Şekil 4.20 Sera denemesi uygulamalarının toprakların pH değerleri üzerine etkileri

Çizelge 4.9 Sera Denemesi uygulamalarının toprakların N, NH₄, NO₃, pH, EC, Kireç ve OM kapsamı üzerine etkisi

Uygulama (ton/da)	pH	EC dS/m	CaCO ₃ %	OM %	KDK me/100 g	N %	NH ₄ mg/kg	NO ₃ mg/kg
Çigili								
Kontrol	7,05ÖD	0,145C	4,70ÖD	0,83B	10,31ÖD	0,015C	9,57D	4,30E
DAP-15 kg/da	7,16ÖD	0,152C	4,68ÖD	0,98B	10,29ÖD	0,094B	8,22E	9,20D
Çamur-2t/da	7,15ÖD	0,182C	3,92ÖD	1,14B	10,74ÖD	0,090B	15,32C	15,05C
Çamur-4t/da	7,13ÖD	1,272B	3,76ÖD	1,05B	11,21ÖD	0,102B	19,37B	74,93B
Çamur-8t/da	7,17ÖD	2,310A	3,84ÖD	1,92A	11,75ÖD	0,128A	34,05A	192,33A
Ankara								
Kontrol	7,60ÖD	0,185B	26,06ÖD	1,34B	40,78B	0,030B	8,40E	11,15E
DAP-15 kg/da	7,79ÖD	0,198B	26,37ÖD	1,50B	40,71B	0,072A	9,40C	24,35C
Çamur-2t/da	7,87ÖD	0,197B	25,95ÖD	2,06A	42,61AB	0,070A	8,25D	17,60D
Çamur-4t/da	7,74ÖD	1,182AB	26,56ÖD	2,37A	48,46A	0,072A	11,30B	31,98B
Çamur-8t/da	7,73ÖD	1,965A	26,02ÖD	2,42A	51,13A	0,080A	12,70A	78,88A
Elazığ								
Kontrol	7,57ÖD	0,115B	40,73ÖD	1,44B	37,01ÖD	0,011B	10,87D	9,23D
DAP-15 kg/da	7,63ÖD	0,150B	42,56ÖD	1,05C	36,56ÖD	0,025AB	7,65E	8,08E
Çamur-2t/da	7,65ÖD	0,185B	41,67ÖD	1,82B	38,00ÖD	0,027AB	19,02C	37,65C
Çamur-4t/da	7,78ÖD	0,295A	42,60ÖD	2,69A	39,69ÖD	0,030A	24,45B	73,63B
Çamur-8t/da	7,58ÖD	0,302A	43,89ÖD	2,73A	42,15ÖD	0,032A	39,95A	194,35A
LSD>0.05	0,217	0,070	2,080	0,404	10,031	0,016	0,0012	0,0036

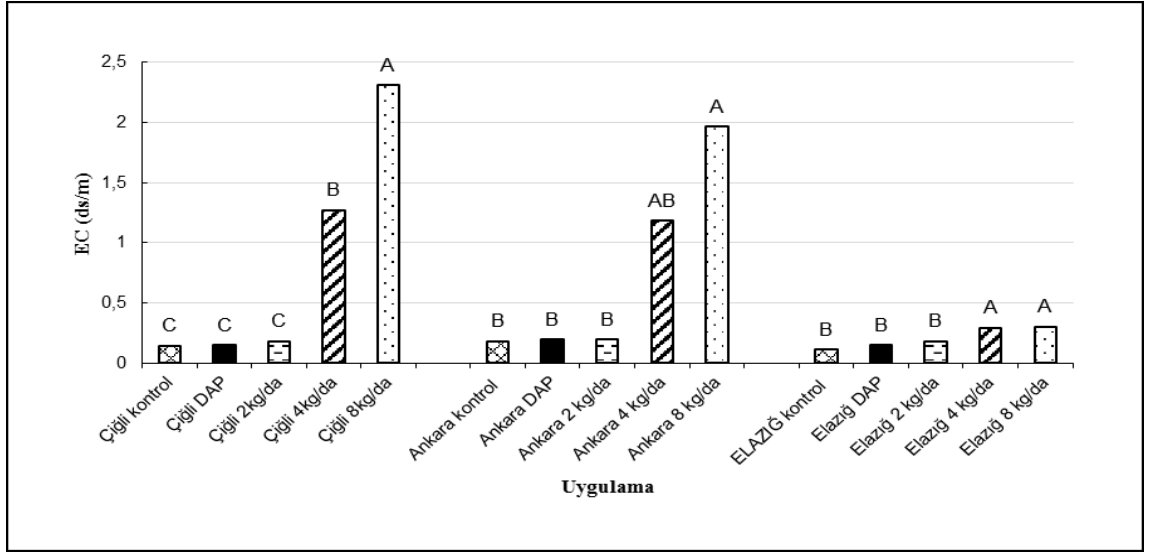
Büyük harf düşey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P < 0.05$);

LSD: Least Significant Difference ÖD: önemli değeri

4.2.2 Sera denemesi toprak örneklerinin EC miktarlarındaki değişimler

Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen EC değerleri çizelge 4.9’de verilmiştir. Her bir çamur uygulamasını ayrı ayrı değerlendirecek olursak, sera denemesinde kullanılan her üç arıtma çamuru uygulamasında (İzmir-Çiğli, Ankara ve Elazığ) artan düzeylerde çamur uygulaması toprakların EC değerlerini artırmıştır. Arıtma çamurunun 2 ton/da dozunda uygulanması her 3 çamur uygulamasında da kontrol ve DAP uygulaması ile aynı gruba girmiş, 4 ve 8 ton/da çamur uygulamaları ise $P<0.05$ düzeyinde toprakların EC değerlerinde önemli artışa neden olmuştur. Şüphesiz bu artış çamur materyalinin içermiş olduğu tuzlarla ilgili olup (Hargreaves vd. 2008) uygulanan doz arttıkça da bu etki belirginleşmektedir. Örneğin, Elazığ çamurunun EC değeri diğer çamurlara göre daha düşük olup, artan çamur uygulaması sonucunda Elazığ topraklarının EC değerleri diğer topraklardaki gibi artmış ancak bu artış çok yüksek değerlere ulaşmamıştır. Yüksek dozda arıtma çamuru uygulanan toprakta olasılıkla metal tuzlarının oluşması nedeniyle (ağır metal ve organik madde kompleksi) en yüksek EC değeri tespit edilmiştir. Toprağa artan dozlarda arıtma çamuru ilavesiyle toprak tuzluluğunun arttığı pek çok araştırmacı tarafından belirtilirken (Moreno vd. 1997, Usman vd. 2004), bitki büyümesini sınırlayıcı faktörlerin başında toprak tuzluluğu gelmektedir (Richards 1960).

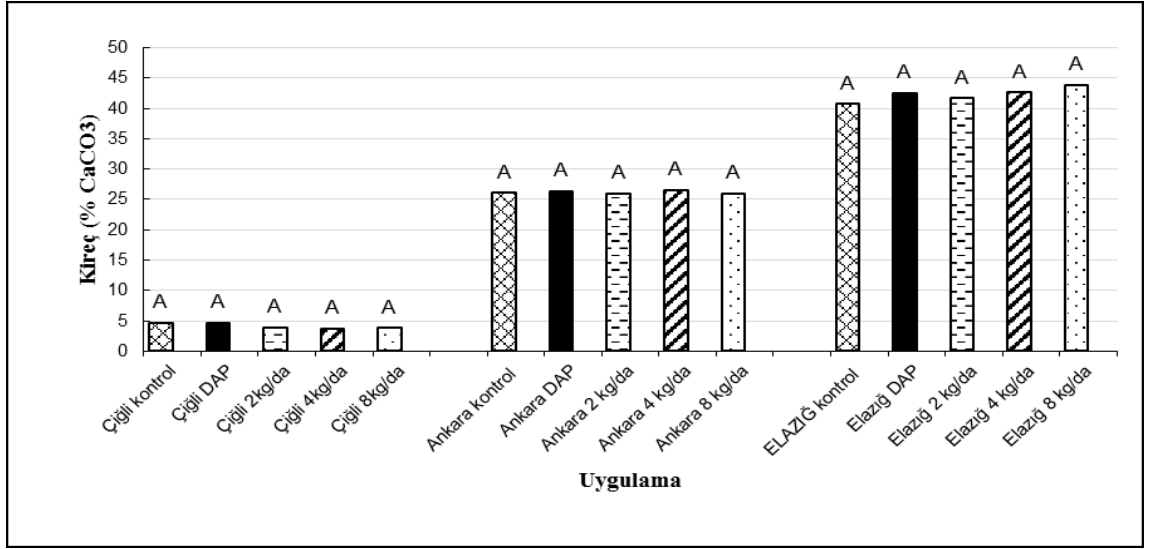
Sera denemesinde kullanılan bütün arıtma çamuru materyallerinin tuz kapsamı sınır değer olan 2-4dS/m’de düşük olup, tuzluluk açısından bir sorun teşkil etmemesine rağmen özellikle su bilançosu negatif olan bölge topraklarında sulama suyu kalitesi, toprağın özellikleri, taban suyu seviyesi, drenaj vb etkenlerden dolayı tuzlanma riski olan sulu tarım sistemlerinde tuz miktarı yüksek arıtma çamurunun kullanılmasında dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamakta yarar görülmektedir.



Şekil 4.21 Sera denemesi uygulamalarının toprakların EC değerleri üzerine etkileri

4.2.3 Sera denemesi toprak örneklerinin kireç miktarlarındaki değişimler

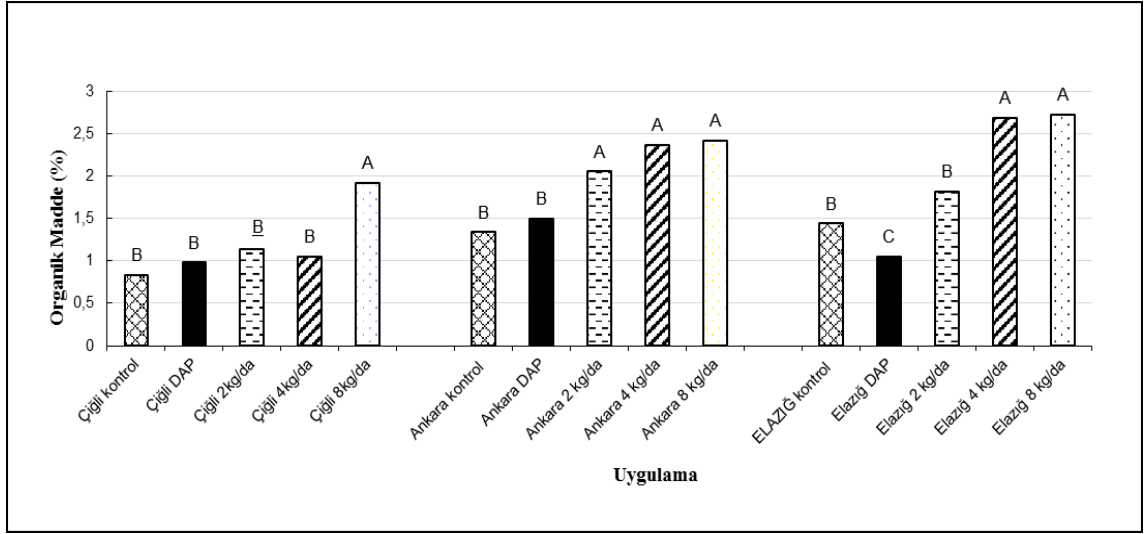
Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen kireç değerleri çizelge 4.9'de verilmiştir. Her bir çamur uygulamasını ayrı ayrı değerlendirecek olursak, Çiğli topraklarında kireç miktarı düşük ve orta düzeyde olup, diğer toprakların tamamında ise yüksek miktarda kireç bulunmaktadır. Artan dozlarda çamur ilavesi denemeye alınan Çiğli topraklarının kireç değerlerini azaltmış, Ankara ve Elazığ topraklarının kireç içeriklerini ise artırmıştır. İstatistiksel olarak değerlendirildiğinde ise her üç çamur uygulamasında meydana gelen azalış ve artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.



Şekil 4.22 Sera denemesi uygulamalarının toprakların kireç değerleri üzerine etkileri

4.2.4 Sera denemesi toprak örneklerinin organik madde (OM) miktarlarındaki değişimler

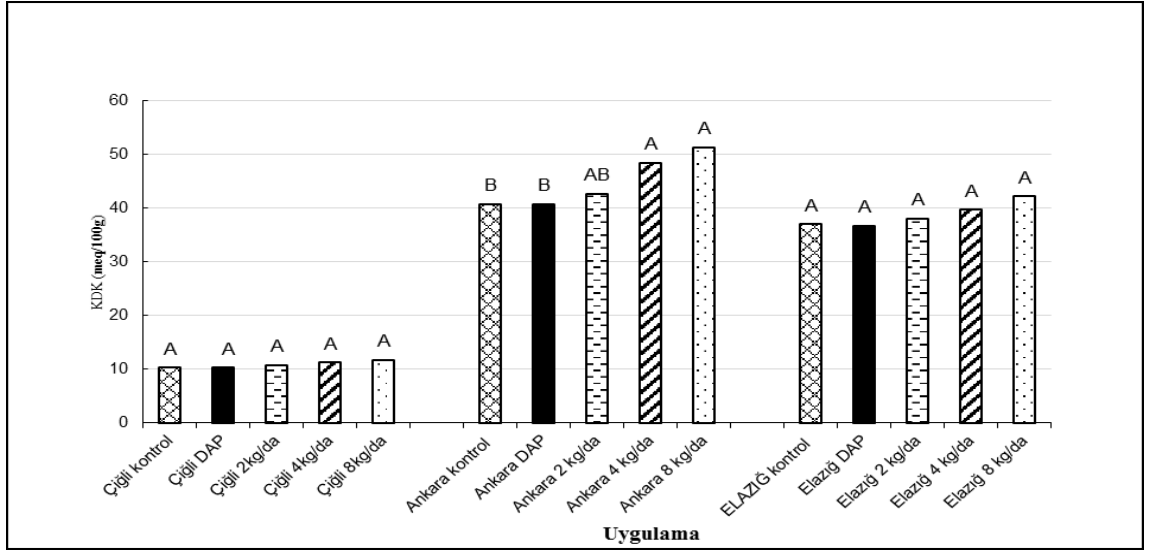
Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen organik madde değerleri çizelge 4.9’de verilmiştir. Denemeye alınan Ankara uygulamasında her 3 arıtma çamuru ilavesi organik madde miktarını kontrole göre $P < 0.05$ düzeyinde artırmış, Çiğli uygulamasında sadece 8 ton/da çamur uygulaması $P < 0.05$ düzeyinde önemli artışa neden olmuş, Elazığ uygulamasında ise 4 ve 8 ton/da çamur uygulaması $P < 0.05$ düzeyinde toprağın organik madde miktarını artırmıştır. Bütün topraklarda arıtma çamuru ilavesi ile toprak organik madde içeriği sınıfı çok az düzeyden (%0-1) orta düzeye (%2-3) yükselmiştir (Lindsay ve Norwell 1969, Anonymous 1990).



Şekil 4.23 Sera denemesi uygulamalarının toprakların OM değerleri üzerine etkileri

4.2.5 Sera denemesi toprak örneklerinin katyon değişim kapasitesi (KDK) değerlerindeki değişimler

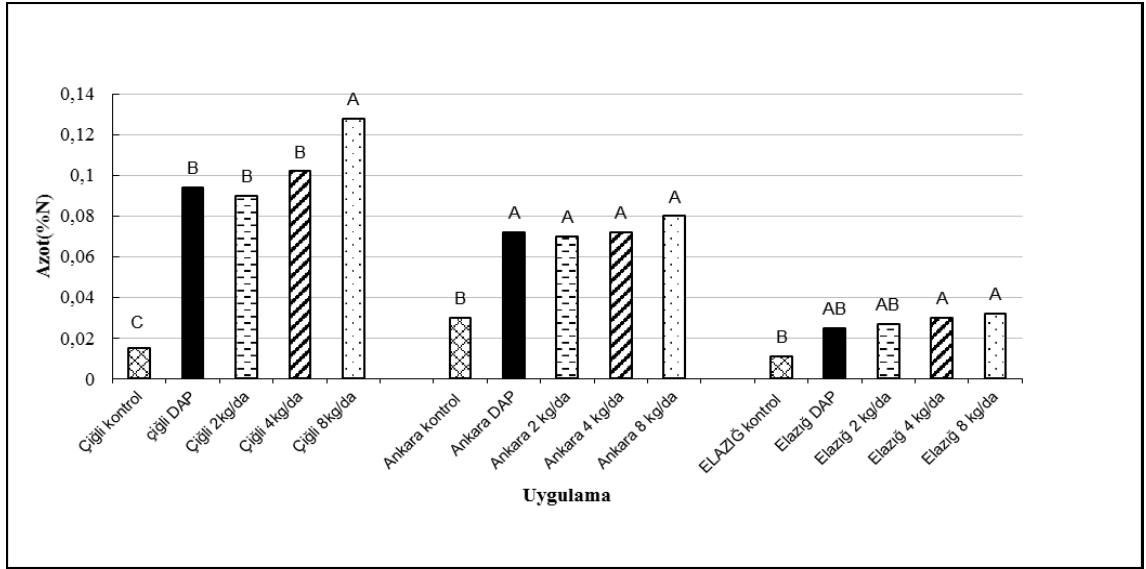
Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen KDK değerleri çizelge 4.9’de verilmiştir. Her bir çamur uygulamasını ayrı ayrı değerlendirecek olursak, Çiğli toprağının KDK değeri düşük olup, diğer 2 toprağın (Ankara, Elazığ) KDK değerleri yüksektir. Değişen düzeylerde arıtma çamuru ilavesi, Çiğili ve Elazığ uygulamalarında toprağın katyon değişim kapasitesini (KDK) istatistiksel olarak önem arz edecek düzeyde değiştirmemiş, Ankara uygulamasında ise toprağın KDK değerleri arıtma çamuru uygulama düzeyine bağlı olarak $P < 0.05$ düzeyinde önemli artışa neden olmuştur. Toprağa yüksek dozlarda arıtma çamuru ilavesinde KDK değeri artış gösterebilmekte, bu da organik maddenin iyon değişim kapasitesine sahip aktif yüzeye sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



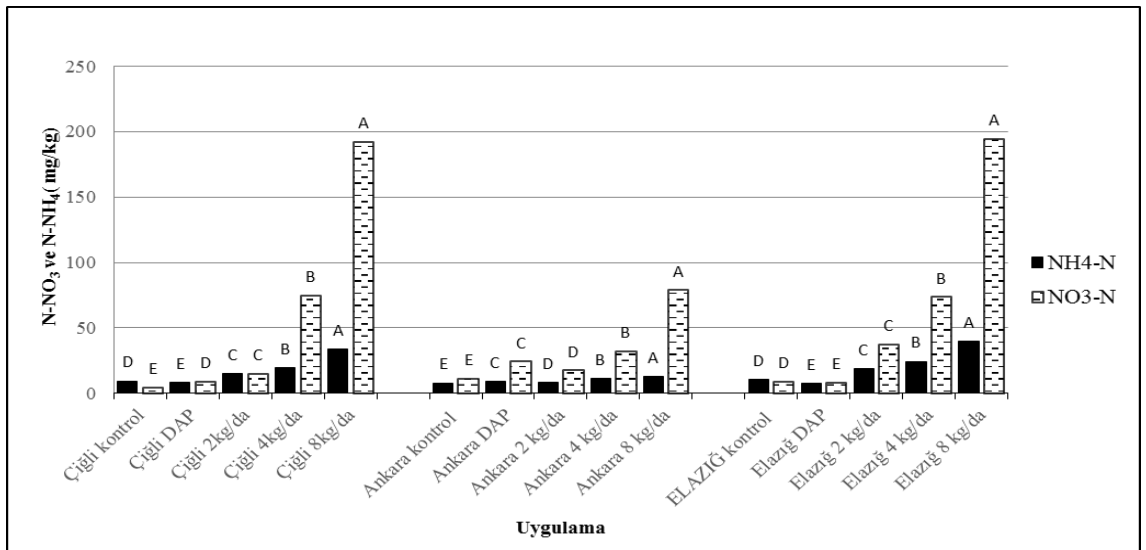
Şekil 4.24 Sera denemesi uygulamalarının toprakların KDK değerleri üzerine etkileri

4.2.6 Sera denemesi toprak örneklerinin toplam azot (N), amonyum azotu ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ve nitrat azotu ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) miktarlarındaki değişimler

Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen toplam azot, amonyum ve nitrat azotu değerleri çizelge 4.9’da verilmiştir. Her üç çamur uygulamasında tüm uygulama düzeyleri kontrol toprağına göre önemli düzeyde değişiklikler göstermiş olup en yüksek etki 8 t/da en düşük etki ise 2 t/da uygulamasında elde edilmiştir ($P<0.05$). Sera denemesine alınan arıtma çamuru örneklerinde Elazığ çamuru en düşük N içeriğine sahip olup (%1,98), en yüksek N içeren çamur ise İzmir-Çiğli çamurudur (%4,52) (Şekil 25-26). Buna bağlı olarak da Çiğli uygulamasında en yüksek çamur dozu olan 8 ton/da uygulamasında toprakların azot içerikleri önemli derecede artış göstermiş, Ankara ve Elazığ uygulamalarında ise DAP uygulamaları ile çamur uygulamaları aynı gruba girmiş, kontrole göre ise diğer tüm uygulamalar $P<0.05$ düzeyinde önemli artışa neden olmuştur. Bu artış denemenin 1. ayında dışarıdan uygulanan azotlu gübreden de kaynaklanmaktadır. Sera denemesinde belirlenen toprak azot miktarlarının inkübasyon topraklarından daha düşük bulunmasının temel nedeni ise yetiştirilen buğday bitkisinin azotu topraktan kaldırmasından dolayıdır. Tüm uygulamalarda toprakların amonyum ve nitrat azot içerikleri uygulanan çamur dozuna bağlı olarak $P<0.05$ düzeyinde artış göstermiştir.



Şekil 4.25 Sera denemesi uygulamalarının toplam N değeri üzerine etkileri



Şekil 4.26 Sera denemesi uygulamalarının toprakların $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve $\text{NO}_3^-\text{-N}$ değerleri üzerine etkileri

4.2.7 Sera denemesi toprak örneklerinin alınabilir fosfor ve değişebilir potasyum miktarlarındaki değişimler

Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen alınabilir fosfor değerleri çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çiğli ve Elazığ uygulamalarında ilave edilen çamur dozuna bağlı olarak toprakların fosfor miktarları $P<0.05$ düzeyinde önemli artış göstermiş, Ankara uygulamasında ise dozlar arasında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprak+çamur kapsamında fosforun bir kısmı humifikasyon periyodu boyunca mineralizasyona bağlı olarak alınabilir forma dönüşmektedir.

Arıtma çamurları iyi bir fosfor kaynağıdır ve yüksek fosfor fiksasyon kapasiteli topraklarda dâhil kolaylıkla alınabildirler. Pekçok araştırmacı arıtma çamurundaki alınabilir fosfor miktarının mineral fosfor gübresindeki ile aynı yada daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Sera denemesi topraklarında da tek başına DAP ilave edilmiş toprakların alınabilir fosfor miktarları 4 ton/da çamur ilave edilmiş topraklarla hemen hemen aynı değerleri taşımakta, 8 ton/da çamur ilavesinde ise alınabilir P miktarları ise $P<0.05$ düzeyinde önemli artışa neden olmuştur.

Arıtma çamurunun her 3 uygulamasında da (Çiğli, Ankara, Elazığ) toprakların potasyum kapsamlarına istatistiksel olarak önem arz edecek şekilde etki etmemiştir (Çizelge 4.10).

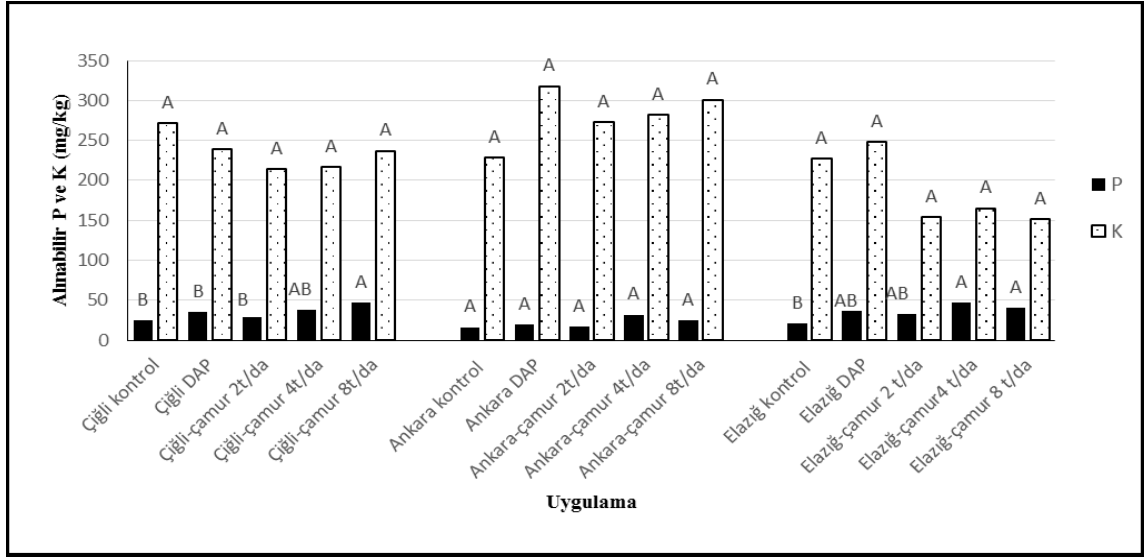
Çizelge 4.10 Sera denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir P ve K (mg/kg) kapsamaları üzerine etkisi

Uygulama	P	K
Çiğili		
Kontrol	24,42B	272 ÖD
DAP-15 kg/da	35,52AB	239 ÖD
Çamur-2t/da	28,23B	214 ÖD
Çamur-4t/da	38,04AB	217 ÖD
Çamur-8t/da	47,35A	237 ÖD
Ankara		
Kontrol	16,80 ÖD	228 ÖD
DAP-15 kg/da	19,96 ÖD	318 ÖD
Çamur-2t/da	16,81 ÖD	273 ÖD
Çamur-4t/da	31,82 ÖD	282 ÖD
Çamur-8t/da	24,60 ÖD	301 ÖD
Elazığ		
Kontrol	20,84B	227 ÖD
DAP-15 kg/da	36,40AB	248 ÖD
Çamur-2t/da	32,99AB	154 ÖD
Çamur-4t/da	47,11A	165 ÖD
Çamur-8t/da	39,98A	151 ÖD
LSD>0.05	16,42	145,2

Büyük harf düzeyi olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

LSD: Least Significant Difference

ÖD: önemli değil



Şekil 4.27 Sera denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir P ve K değerleri üzerine etkileri

4.2.8 Sera denemesi toprak örneklerinin toplam ve alınabilir iz element ve ağır metal miktarlarındaki değişimler

Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen toplam ağır metal değerleri Tablo 10.27’de, alınabilir iz element ve ağır metal değerleri Tablo 10.28’de, verilmiştir. Bütün uygulamalarda toprakların toplam metal kapsamı (Ni hariç) çamur dozuna bağlı olarak artış göstermiştir. Sadece Elazığ uygulamasında en yüksek 2 doz olan 4 ve 8 ton/da uygulamasında toprağın toplam Pb değerlerinde önemli azalma meydana gelmiş, Ankara uygulaması da toprağın Pb kapsamı üzerine etkide bulunmamıştır. Elazığ topraklarında arıtma çamurunun yüksek dozlarında toprağın Pb miktarlarındaki azalmanın nedeni çamurla beraber toprak kolloidlerindeki (organik madde ve kil mineralleri) ilerleyen adsorpsiyondan kaynaklanmış olabilir. Her üç çamur uygulaması toprakların toplam Ni içerikleri üzerine etki etmemiştir.

Toprakların alınabilir ağır metal kapsamı da bütün uygulamalarda (Pb hariç) artan çamur dozuna bağlı olarak artış göstermiştir. Sadece Çiğli uygulamasında toprakların alınabilir Pb değerleri toplam Pb değerlerinin aksine doz arttıkça azalmış, toplam Pb değerleri ise Çiğli çamur uygulamasında doz arttıkça artmıştır. Ankara ve Elazığ uygulamalarında ise arıtma çamuru ilavesi toprakların Pb kapsamı üzerine etkide

bulunmamıştır. Toprakların alınabilir Cd ve Cr konsantrasyonları deteksiyon limitinin ($P \leq 0,05$) altında olduğundan sonuçlar verilmemiştir.

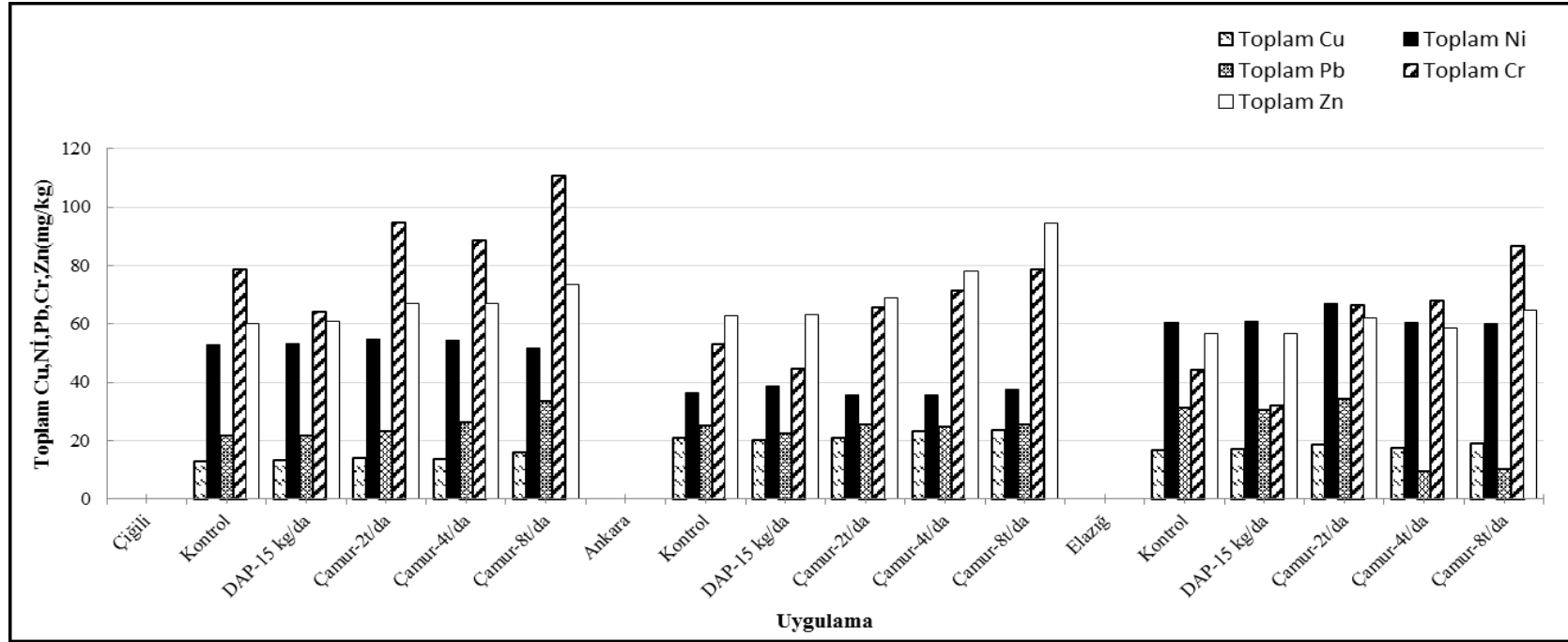
Çizelge 4.11 Sera denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cu, Ni, Pb, Cr ve Zn (mg/kg) kapsamaları üzerine etkisi

Uygulama	Cu	Ni	Pb	Cr	Zn
Çiğili					
Kontrol	12,94B	52,84 ÖD	21,70C	78,63C	60,00C
DAP-15 kg/da	13,38B	53,07 ÖD	21,55C	64,15C	60,99C
Çamur-2t/da	14,10B	54,61 ÖD	23,20C	94,79AB	66,94B
Çamur-4t/da	13,48B	54,47 ÖD	26,42B	88,45B	67,07B
Çamur-8t/da	15,89A	51,74 ÖD	33,56A	110,94A	73,44A
Ankara					
Kontrol	20,99B	36,37 ÖD	25,12ÖD	53,16BC	62,94D
DAP-15 kg/da	20,28B	38,75 ÖD	22,39 ÖD	44,62C	63,30D
Çamur-2t/da	21,03B	35,56 ÖD	25,31 ÖD	65,61AB	69,05C
Çamur-4t/da	23,28A	35,56 ÖD	24,78 ÖD	71,34A	77,97B
Çamur-8t/da	23,71A	37,40 ÖD	25,50 ÖD	78,64A	94,41A
Elazığ					
Kontrol	16,63C	60,42 ÖD	31,41AB	44,38C	56,56C
DAP-15 kg/da	16,96C	60,78 ÖD	30,36B	31,83C	56,68C
Çamur-2t/da	18,67AB	66,84 ÖD	34,31A	66,32B	61,89AB
Çamur-4t/da	17,32C	60,48 ÖD	9,50C	67,77B	58,62BC
Çamur-8t/da	18,97A	60,20 ÖD	10,25C	86,65A	64,76A
LSD>0.05	1,444	5,424	2,914	16,238	4,786

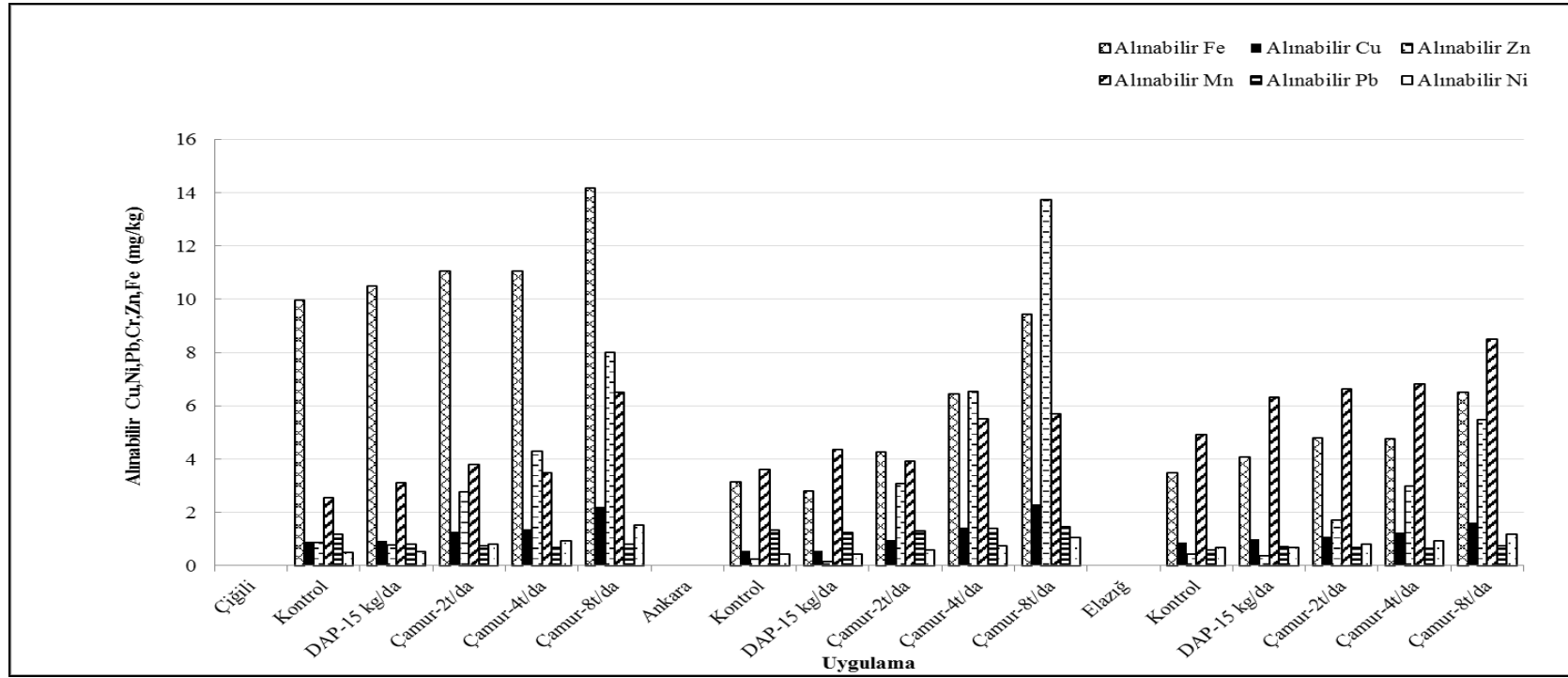
Çizelge 4.12 Sera denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Ni (mg/kg) Kapsamları Üzerine Etkisi

Uygulama	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Ni
Çiğili						
Kontrol	9,97B	0,89C	0,88D	2,56B	1,19A	0,50C
DAP-15 kg/da	10,50B	0,93C	0,79D	3,13B	0,81B	0,53C
Çamur-2t/da	11,06B	1,28B	2,78C	3,79B	0,76B	0,81B
Çamur-4t/da	11,06B	1,38B	4,30B	3,50B	0,68B	0,92B
Çamur-8t/da	14,17A	2,22A	8,02A	6,51A	0,80AB	1,54A
Ankara						
Kontrol	3,15C	0,56D	0,25D	3,61 ÖD	1,34 ÖD	0,44B
DAP-15 kg/da	2,80D	0,56D	0,15D	4,36 ÖD	1,26 ÖD	0,43B
Çamur-2t/da	4,27C	0,96C	3,09C	3,91 ÖD	1,30 ÖD	0,59AB
Çamur-4t/da	6,45B	1,44B	6,54B	5,50 ÖD	1,39 ÖD	0,76AB
Çamur-8t/da	9,45A	2,31A	13,73A	5,71 ÖD	1,47 ÖD	1,06A
Elazığ						
Kontrol	3,48B	0,87D	0,45D	4,93B	0,60 ÖD	0,67C
DAP-15 kg/da	4,09B	0,99C	0,36D	6,33AB	0,73 ÖD	0,69C
Çamur-2t/da	4,79B	1,10B	1,72C	6,64AB	0,68 ÖD	0,82BC
Çamur-4t/da	4,78B	1,25B	2,99B	6,81AB	0,66 ÖD	0,93B
Çamur-8t/da	6,50A	1,63A	5,49A	8,50A	0,74 ÖD	1,17A
LSD>0.05	1,244	0,170	0,953	2,262	0,373	0,173

Düşey kolonlardaki sayıların yanındaki harfler her bir doz arasındaki karşılaştırmayı göstermektedir. Harf bir satırdan diğer komşu (düşey) satıra farklılaşma göstermezse, hesaplanan LSD seviyesinde aradaki farkın önemli olmadığı anlamını taşımaktadır. Harfin farklılaşması sonuçların LSD seviyesinde bir komşu satırdan farklı olduğunu ifade etmektedir. LSD: Least Significant Difference



Şekil 4.28 Sera denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cu, Ni, Pb, Cr ve Zn değerleri üzerine etkileri



Şekil 4.29 Sera denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Cu, Ni, Pb, Cr ve Zn değerleri üzerine etkileri

4.2.9 Sera Denemesi toprak örneklerinin beta glukozidaz enzim aktivite değerlerindeki değişimler

Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen beta glukozidaz enzim aktivite değerleri çizelge 4.13’de verilmiştir.

Sera denemesinde İzmir-Çiğli arıtma çamuru uygulanmış toprakların beta glukozidaz enzim aktivite miktarları artan çamur dozuna bağlı olarak önemli ($P<0.05$) derecede artış göstermiştir. En yüksek aktivite en yüksek 8ton/da arıtma çamurunda belirlenmiştir. Kontrol ve DAP uygulaması yapılmış topraklarda ise çamur uygulamalarından çok daha düşük beta glukozidaz aktivitesi saptanmış, kontrol ve DAP uygulamalarında birbirine yakın enzim aktivite miktarları belirlenmiştir.

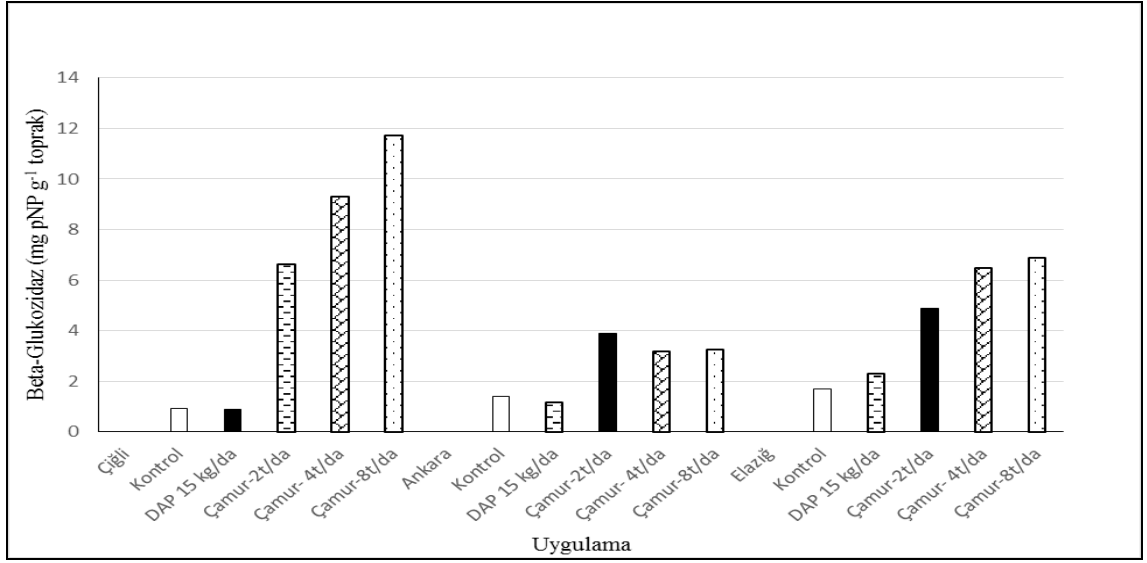
Sera denemesinde Ankara arıtma çamuru uygulanmış toprakların beta glukozidaz enzim aktivite miktarları çamur uygulamalarının hepsinde birbirine yakın belirlenmiş olup, istatistiksel olarak önemli bir fark belirlenmemiştir. Çamur dozları arasında fark olmamasına karşın çamur uygulamaları ile kontrol ve DAP uygulamaları arasında $P<0.05$ düzeyinde önemli fark belirlenmiştir. Çamur uygulamaları kontrol ve DAP uygulamasına göre beta glukozidaz aktivitesini artırmıştır.

Sera denemesinde Elazığ arıtma çamuru uygulanmış toprakların beta glukozidaz enzim aktivite miktarları çamur uygulamalarına bağlı olarak artmış, 4 ve 8 ton/da çamur uygulanmış topraklarda enzim aktiviteleri aynı gruba girmiştir. Tüm çamur uygulama dozları ile kontrol ve DAP uygulamaları arasında $P<0.05$ düzeyinde önemli fark belirlenmiştir. Çamur uygulamaları kontrol ve DAP uygulamasına göre beta glukozidaz aktivitesini artırmıştır.

Çizelge 4.13 Sera Denemesi uygulamalarının toprakların biyokimyasal özellikleri üzerine etkisi

Uygulama	Beta Glukozidaz mg pNP g ⁻¹ toprak	Karbondioksit Çıkışı µg CO ₂ g ⁻¹ gün	Mikrobiyal Biyokütle Karbonu µg CO ₂ /g toprak/24 h	qCO ₂ CO ₂ /MBC
Çiğili				
Kontrol	0,91 D	94,08 B	443,00C	0,21B
DAP-15 kg/da	0,90 D	97,85 B	430,80 C	0,22B
Çamur-2t/da	6,61 C	163,76 B	431,00C	0,37A
Çamur-4t/da	9,31 B	163,25 B	719,90B	0,22B
Çamur-8t/da	11,73 A	536,20 A	2054,40A	0,26B
Ankara				
Kontrol	1,14 B	253,57 BC	407,60E	0,62A
DAP-15 kg/da	1,15 B	225,73 C	467,30D	0,48B
Çamur-2t/da	3,89 A	311,88 B	592,00C	0,52AB
Çamur-4t/da	3,17 A	456,35 A	793,40B	0,57A
Çamur-8t/da	3,27 A	532,48 A	1791,40A	0,29C
Elazığ				
Kontrol	1,70 C	288,52 C	441,70D	0,65A
DAP-15 kg/da	2,31 C	279,82 C	460,80D	0,60A
Çamur-2t/da	4,90 B	310,95 C	581,00C	0,53B
Çamur-4t/da	6,48 A	510,33 B	733,00B	0,69A
Çamur-8t/da	6,87 A	621,69 A	1365,10A	0,45B
LSD_{0.05}=	1,115	80,606	35,433	0,091

Büyük harf düşey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P < 0.05$);
LSD: Least Significant Difference ÖD: önemli değil



Şekil 4.30 Sera denemesi uygulamalarının toprakların beta glukozidaz aktivitesi üzerink

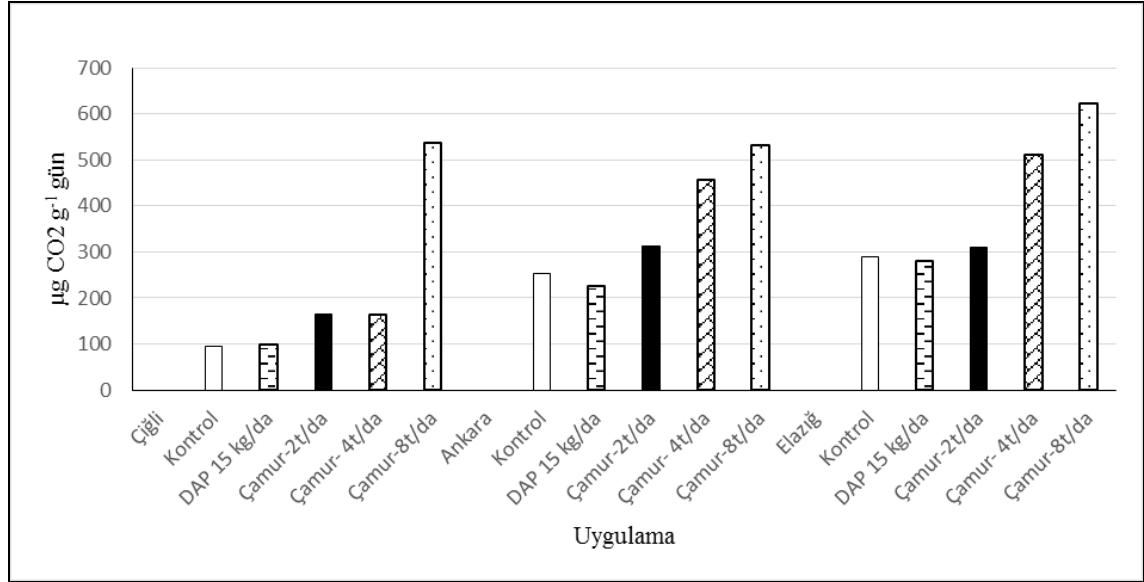
4.2.10 Sera Denemesi Toprak Örneklerinin CO₂ Çıkışı Miktarlarındaki Değişimler

Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen CO₂ çıkışı (toprak solunumu) değerleri çizelge 4.13’de verilmiştir.

Sera denemesinde İzmir-Çiğili arıtma çamuru uygulanmış toprakların CO₂ çıkışı miktarları beta glukozidaz enzim aktivitesinin aksine artan çamur dozuna bağlı olarak çok önemli değişiklik göstermemiştir. Çamurun 2 ve 4 ton/da dozları ile kontrol ve DAP uygulamaları istatistiksel olarak aynı gruba girmiştir. Sadece en yüksek doz olan 8 ton/da çamur uygulaması P<0.05 derecede önemli artışa neden olmuştur.

Sera denemesinde Ankara arıtma çamuru uygulanmış toprakların CO₂ çıkışı miktarları kontrol ve DAP uygulamalarına göre fazla bulunmuş, 2 ve 4 ton/da çamur uygulamaları aynı istatistiki grupta yer almıştır. En yüksek toprak solunumu ise en yüksek çamur uygulama dozunda (8 ton/da) belirlenmiştir. Kontrol ve DAP uygulamaları en düşük CO₂ çıkışı miktarlarına sahip olmuştur.

Sera denemesinde Elazığ arıtma çamuru uygulanmış toprakların en yüksek CO₂ çıkışı miktarları 8ton/da uygulamasında ortaya çıkmıştır. 4 ton/da çamur uygulaması sonraki grubu oluştururken, 2 ton/da çamur ve kontrol ve DAP uygulamaları ise aynı istatistiki grupta yer almıştır.



Şekil 4.31 Sera denemesi uygulamalarının toprakların toprak solunumu üzerine etkileri

4.2.11 Sera denemesi toprak örneklerinin mikrobiyal biyokütle karbonu miktarlarındaki değişimler

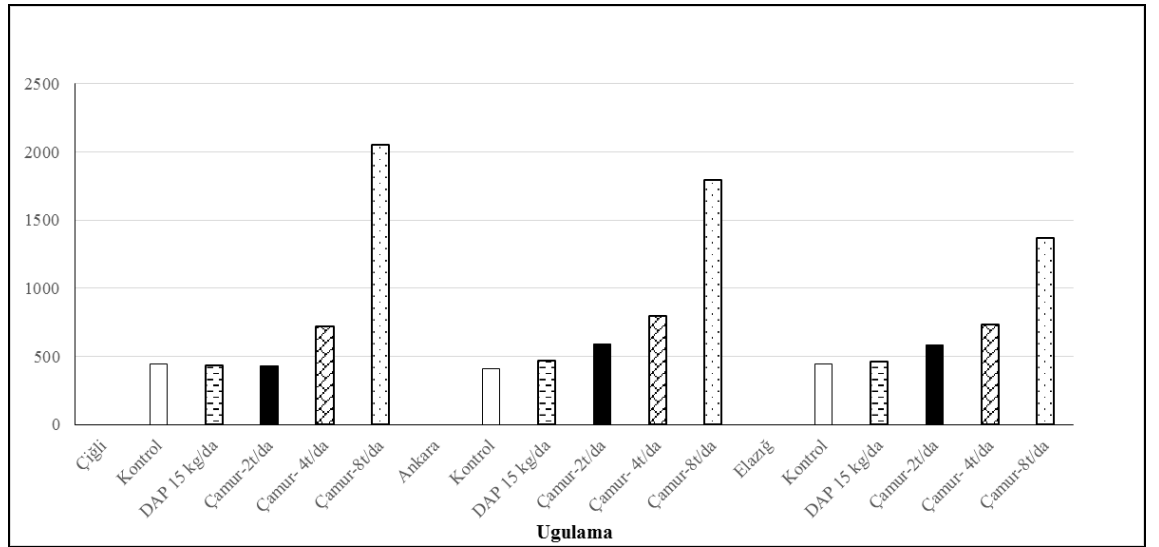
Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen mikrobiyal biyokütle karbonu değerleri çizelge 4.13’de verilmiştir.

Sera denemesinde 2 ton/da İzmir-Çiğli arıtma çamuru uygulanmış toprakların MBC miktarları 2 ile kontrol ve DAP uygulamaları istatistiksel olarak aynı gruba girmiştir. Çamurun 4 ve 8 ton/da uygulaması ise $P<0.05$ derecede önemli artışa neden olmuştur.

Sera denemesinde Ankara arıtma çamuru uygulanmış toprakların MBC miktarları ise uygulamalara bağlı olarak $P<0.05$ düzeyinde farklılık göstermiştir. En düşük MBC miktarı kontrol uygulamasında bunu DAP uygulaması takip etmiş, en yüksek MBC ise en yüksek çamur uygulama dozunda (8 ton/da) belirlenmiştir.

Sera denemesinde Elazığ arıtma çamuru uygulanmış toprakların en yüksek MBC miktarları 8ton/da uygulamasında ortaya çıkmıştır, 2 ve 4 ton/da çamur uygulaması sonraki grubu oluştururken, kontrol ve DAP uygulamaları ise aynı istatistiki grupta yer almıştır.

Bütün çamur çeşitlerinde en yüksek çamur doz uygulaması (8ton/da) MBC miktarlarını önemli ölçüde artırmıştır.



Şekil 4.32 Sera denemesi uygulamalarının toprakların mikrobiyal biyokütle karbonu üzerine etkile

4.2.12 Sera denemesi toprak örneklerinin mikrobiyal metabolik katsayındaki - qCO₂ oranı (mikrobiyal solunum: mikrobiyal biyokütle) değişimler

Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesi toprak örneklerinde belirlenen qCO₂ değerleri çizelge 4.13’de verilmiştir.

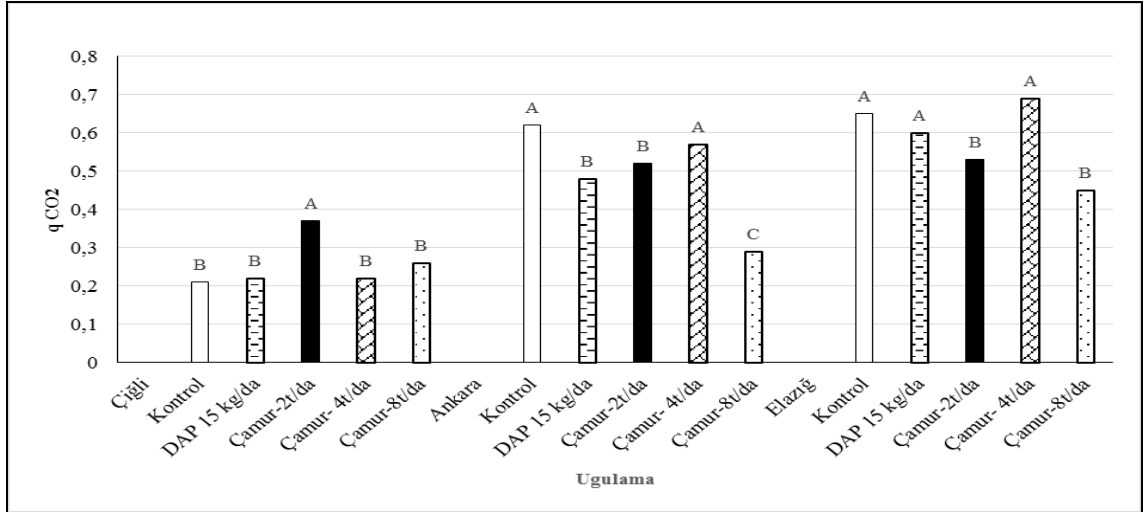
Sera denemesinde Çiğili çamuru uygulamalarında toprakların qCO₂ oranı 2 ton/da çamur uygulaması hariç birbirlerine yakın değer göstermişlerdir.

Sera denemesinde Ankara çamuru uygulamalarında artan doza bağı olarak (4ton/da hariç) qCO₂ değerleri azalmış, en yüksek çamur uygulamasında da en düşük qCO₂ değeri belirlenmiştir. Benzer sonuçlar Ankara çamurunun uygulandığı inkübasyon denemesinde de bulunmuştur. qCO₂ oranının 2'den büyük olması enerji olarak daha az mikrobiyal kominite varlığının göstergesidir. Buna göre Ankara çamuru uygulanmış topraklarda qCO₂ oranının kontrole göre azalması bu toprakların biyolojik verimliliğin arttığı anlamına gelmektedir.

Sera denemesi Elazığ çamuru uygulamalarında da Ankara çamuru uygulamasına benzer şekilde en yüksek çamur uygulamasında qCO₂ değeri en düşük bulunmuştur.

Benzer sonuçlar Elazığ çamurunun uygulandığı inkübasyon denemesinde de bulunmuştur. Buna göre Elazığ çamuru uygulanmış topraklarda qCO₂ oranının kontrole göre azalması bu toprakların biyolojik verimliliğin arttığı anlamına gelmektedir.

Bu konuda yapılan diğer araştırma sonuçları bizim sonuçlara benzer veya tersi bulgular içermekte ve genellikle arıtma çamuru ilavesinin ağır metal miktarı artışına paralel olarak toprakların qCO₂ oranını artırdığı ve toprakların mikrobiyal aktivitelerini strese soktuğu yönündedir. Chander ve Brookes (1991b), arıtma çamurundaki ağır metal miktarı arttıkça qCO₂ oranının da yükseldiğini, buna karşın Baath vd. (1991), ağır metal konsantrasyonu arttıkça qCO₂ oranının düştüğünü belirlemişlerdir.



Şekil 4.33 Sera denemesi uygulamalarının toprakların qCO_2 oranı üzerine etkiler

4.2.13 Sera denemesi bitki analiz sonuçları

Farklı dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş sera denemesinde hasat edilen buğday bitkisinin azot, ağır metal ve iz element kapsamı ile yaş ve kuru ağırlık değerleri çizelge 4.14’de verilmiştir.

Ankara ve Elazığ çamur uygulamalarında bitkinin bakır ve çinko içerikleri artan çamur dozuna bağlı olarak artmış, Çiğili çamuru uygulamasında ise kontrol ve diğer uygulamalar arasında bir fark belirlenmemiştir. Her üç çamur çeşidi uygulamasında da bitkinin demir ve mangan kapsamı çamur uygulamasından etkilenmemiş, Elazığ uygulamasında artan çamur dozuna bağlı olarak bitkinin Mn içeriği azalmış fakat bu azalış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Bitkinin Cd, Pb ve Ni konsantrasyonları deteksiyon limitinin ($P \leq 0,05$) altında olduğundan çizelgede verilmemiştir.

Sera denemesinde yetiştirilen buğday bitkisinin hasadından sonra tartılan yaş ağırlık değerleri gerek DAP uygulamasında gerekse çamur uygulamalarında kontrole göre artış göstermiş ancak en yüksek doz olan 8 ton/da çamur uygulamasında gerek yaş, gerekse bitki kuru ağırlıklarında önemli düşmeler görülmüştür (Çizelge 4.14).

Bitkinin kuru ağırlıkları, Çiğili uygulamasında kontrol dışındaki diğer tüm uygulamalarda (DAP ve 3 çamur dozu) istatistiksel olarak aynı gruba girmiş, kontrole göre bitkinin kuru ağırlığını $P<0.05$ düzeyinde önemli derecede artırmıştır. Ankara çamuru uygulamasında en düşük kuru madde miktarları kontrol ve 2 ton/da çamur uygulanmış saksılarda belirlenmiş, DAP uygulaması ile 4 ve 8 ton/da çamur uygulamaları ise istatistiksel olarak aynı gruba girmiş ve kuru madde ağırlığını artırmıştır.

Her üç çamur uygulamasında (Çiğli, Ankara, Elazığ) her 3 çamur dozu (2, 4, 8 ton/da) da bitkinin azot kapsamını DAP uygulaması ve kontrole göre $P<0.05$ düzeyinde önemli artışa neden olmuştur (Çizelge 4.14).

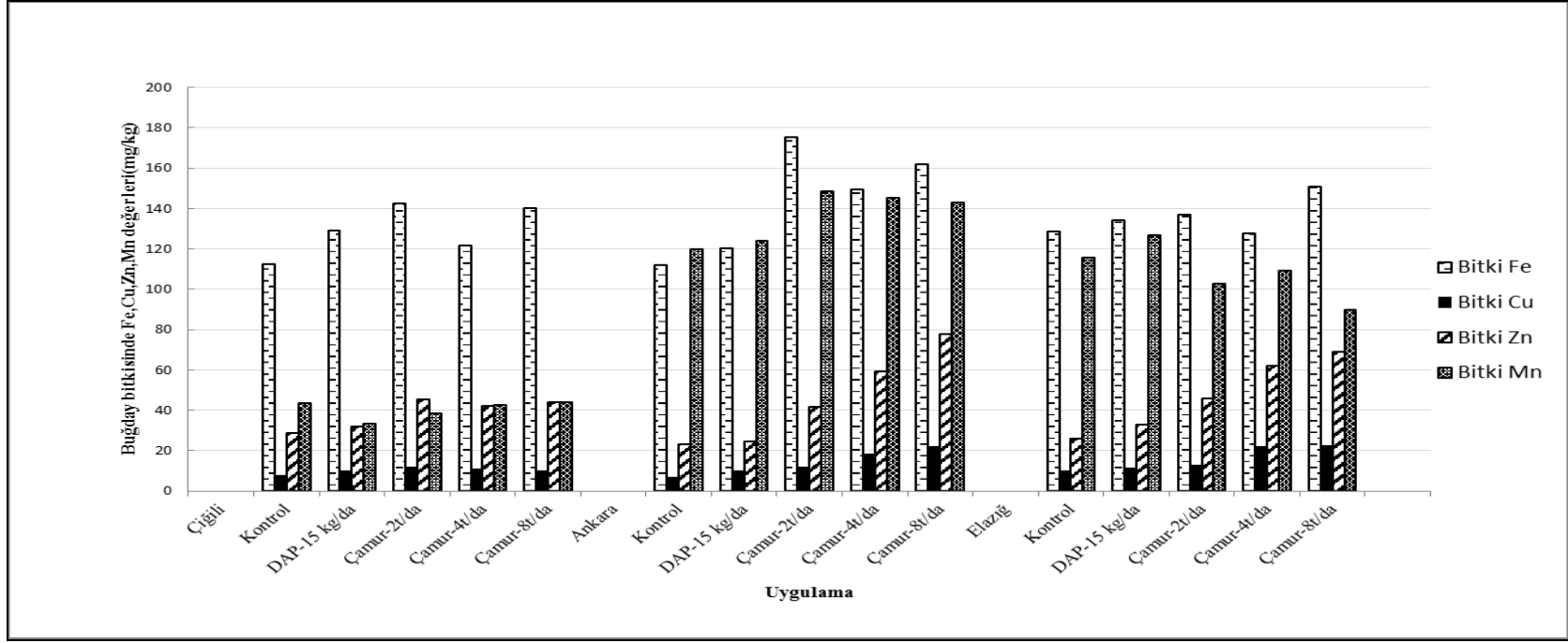
Çizelge 4.14 Sera denemesi uygulamalarının bitkinin N ve Fe, Cu, Zn, Mn içerikleri ile yaş ve kuru ağırlıkları üzerine etkisi

Uygulama	N %	Fe mgkg ⁻¹	Cu mgkg ⁻¹	Zn mgkg ⁻¹	Mn mgkg ⁻¹	Yaş ağırlık g	Kuru ağırlık g
Çigili							
Kontrol	2,40C	112,53ÖD	7,80 ÖD	28,60 ÖD	43,28 ÖD	12,11C	1,47B
DAP-15 kg/da	3,59B	129,15ÖD	10,20 ÖD	31,77 ÖD	33,28 ÖD	16,45B	2,34A
Çamur-2t/da	4,59A	142,40ÖD	11,95 ÖD	45,55 ÖD	38,63 ÖD	22,21A	2,76A
Çamur-4t/da	4,56A	121,63 ÖD	11,05 ÖD	42,25 ÖD	42,58 ÖD	22,62A	2,34A
Çamur-8t/da	5,11A	139,95 ÖD	10,40 ÖD	43,75 ÖD	44,13 ÖD	16,34B	2,30A
Ankara							
Kontrol	3,49 B	112,13 ÖD	7,07C	23,23D	119,68 ÖD	10,58B	1,26B
DAP-15 kg/da	3,98AB	120,33 ÖD	10,37BC	24,70D	124,13 ÖD	16,71A	1,93A
Çamur-2t/da	4,17AB	175,15 ÖD	12,12BC	41,55C	148,68 ÖD	14,75A	1,66AB
Çamur-4t/da	4,48A	149,28 ÖD	18,32AB	59,05B	145,33 ÖD	15,75A	2,10A
Çamur-8t/da	4,80A	161,70 ÖD	22,20A	77,53A	142,78 ÖD	9,03B	1,90A
Elazığ							
Kontrol	3,46B	128,45 ÖD	10,00B	25,95D	115,53 ÖD	10,86B	1,34C
DAP-15 kg/da	3,29B	134,10 ÖD	11,52B	33,05CD	126,88 ÖD	13,47B	1,77BC
Çamur-2t/da	4,49A	137,00 ÖD	13,02B	46,03BC	102,45 ÖD	17,04A	2,39A
Çamur-4t/da	4,87A	127,58 ÖD	22,35A	61,88AB	109,30 ÖD	18,18A	2,35A
Çamur-8t/da	5,26A	150,70 ÖD	22,52A	69,05A	89,53 ÖD	17,25A	2,20AB
LSD>0.05	0,811	98,820	8,706	16,770	35,392	2,260	0,522

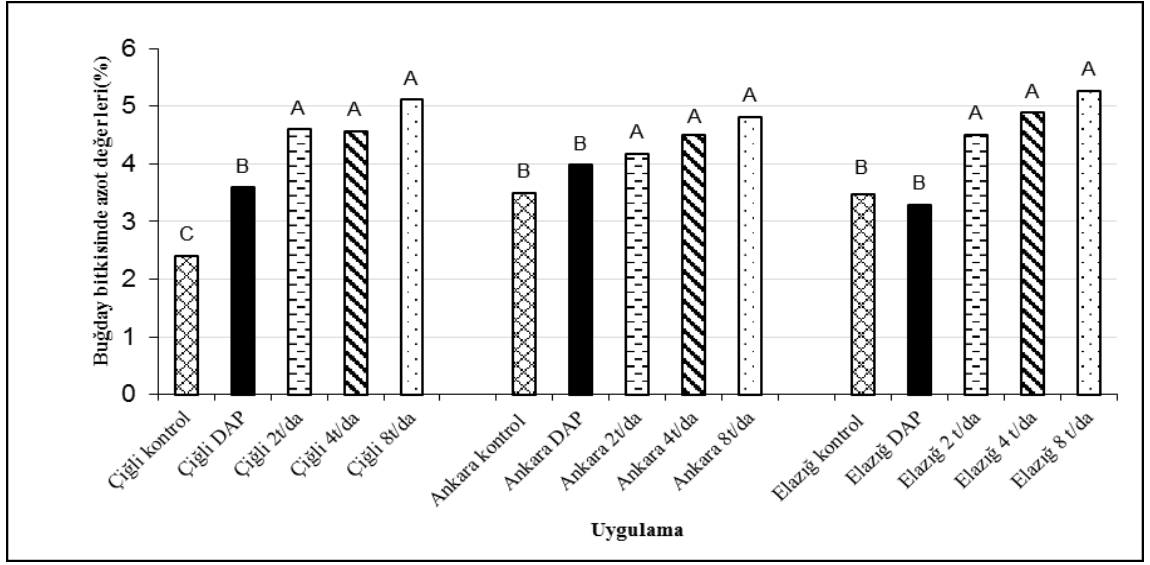
Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P < 0.05$);

LSD: Least Significant Difference

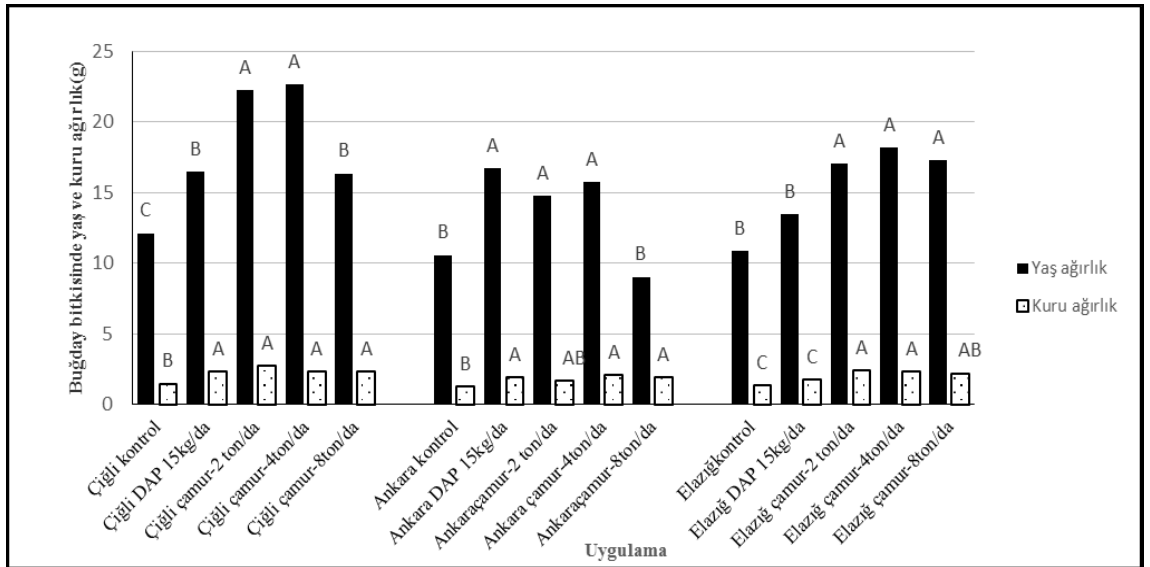
ÖD: önemli değil



Şekil 4.34 Sera denemesi uygulamalarının buğday bitkisi Fe, Cu, Zn, Mn değerleri üzerine etkileri



Şekil 4.35 Sera denemesi uygulamalarının buğday bitkisi azot değerleri üzerine etkileri



Şekil 4.36 Sera denemesi uygulamalarının buğday bitkisi yaş ve kuru ağırlık değerleri üzerine etkileri

Sera denemesi sonuçları özetlenecek olursa;

1. Sera denemesinde kullanılan özellikle Ankara ve Elazığ arıtma çamuru uygulamalarında artan çamur dozuyla beraber kontrole göre pH değerleri artmış, ancak arıtma çamur uygulamalarına bağlı olarak belirlenen pH artışları istatistiki olarak ($P<0,05$) önemli bulunmamıştır.
2. Her üç arıtma çamuru uygulamasında artan düzeylerde çamur uygulaması toprakların OM ve EC değerlerini artırmıştır.
3. Artan dozlarda çamur ilavesi denemeye alınan her üç çamur uygulamasında kireç ve K değerlerinde meydana gelen azalış ve artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.
4. Değişen düzeylerde arıtma çamuru ilavesi, Çiğli ve Elazığ uygulamalarında toprağın katyon değişim kapasitesini (KDK) istatistiksel olarak önem arz edecek düzeyde değiştirmemiş, Ankara uygulamasında ise toprağın KDK değerleri arıtma çamuru uygulama düzeyine bağlı olarak $P<0.05$ düzeyinde önemli artışa neden olmuştur.
5. Çiğli uygulamasında en yüksek çamur dozu olan 8 ton/da uygulamasında toprakların azot içerikleri önemli derecede artış göstermiş (diğer iki çamura göre yüksek azot içeriği ve OM içeriğine sahip), Ankara ve Elazığ uygulamalarında ise DAP uygulamaları ile çamur uygulamaları aynı gruba girmiş, kontrole göre ise diğer tüm uygulamalar $P<0.05$ düzeyinde önemli artışa neden olmuştur.
6. NH_4^+-N ve NO_3^--N değerleri her üç çamur uygulamasında tüm uygulama düzeyleri kontrol toprağına göre önemli düzeyde değişiklikler göstermiş olup en yüksek etki 8 t/da en düşük etki ise 2 t/da uygulamasında elde edilmiştir ($P<0.05$).
7. Çiğli ve Elazığ uygulamalarında ilave edilen çamur dozuna bağlı olarak toprakların fosfor miktarları $P<0.05$ düzeyinde önemli artış göstermiş, Ankara uygulamasında ise dozlar arasında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.
8. Sera topraklarının özellikle Çiğli çamur uygulamasında toplam Pb içerikleri önemli artışa neden olmuştur. Cd açısından değerlendirildiğinde ise Çiğli ve Ankara çamur uygulamaları kontrole göre Cd konsantrasyonlarını artırmış, Elazığ uygulamasında ise kontrole göre herhangi bir değişiklik belirlenmemiştir. Arıtma çamuruna bağlı

toprakta meydana gelen ağır metal artışı, çamurun toplam metal içeriğine bağlı olmasının yanı sıra çamurun organik madde miktarına da bağlı olup, organik madde elementlerin çözünübilirlik ve biyoalınabilirliği üzerine direk etki edebilmektedir.

9. Toplam Ni her 3 çamur uygulamasında da önem arz edecek değişikliğe uğramamıştır. Toplam ve alınabilir Cr değerleri de Çiğili çamur uygulamasında doza bağlı $P<0.05$ düzeyinde artışa neden olmuş (Çiğili arıtma çamuru diğer iki çamura göre yüksek Cr içeriğine sahiptir), diğer 2 çamur uygulaması ise Cr içeriklerini önem arz edecek seviyede etkilememiştir.
10. Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı meydana gelen bu artışlara rağmen toprakların ağır metal içerikleri yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında belirlenmiştir.
11. Bitkinin azot, bakır ve çinko içerikleri artan çamur dozuna bağlı olarak artmış, bitkinin demir ve mangan kapsamı çamur uygulamasından etkilenmemiştir. Elazığ uygulamasında artan çamur dozuna bağlı olarak bitkinin Mn içeriği azalmış fakat bu azalış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.
12. Her üç çamur uygulaması ve her 3 çamur dozu (2, 4, 8 ton/da) da bitkinin azot kapsamını DAP uygulaması ve kontrole göre $P<0.05$ düzeyinde önemli olacak şekilde artırmıştır.
13. Bitki örneklerinin Cd içerikleri deteksiyon limit değerlerinin altında belirlenmiş, Cr, Ni ve Pb içerikleri ise her 3 çamur uygulamasında da sadece en yüksek çamur dozu uygulanmış topraklarda diğer uygulamalara göre $P<0.05$ düzeyinde artışa yol açmış, kontrol dahil diğer uygulamalar arasında fark belirlenmemiştir.
14. Sera denemesinde 8 hafta süreyle yetiştirilen buğday bitkisinin hasadından sonra tartılan yaş ağırlık değerleri gerek DAP uygulamasında gerekse çamur uygulamalarında kontrole göre artış göstermiş, ancak en yüksek doz olan 8 ton/da çamur uygulamasında gerek yaş, gerekse bitki kuru ağırlıklarında önemli düşmeler görülmüştür.
15. Çiğili, Ankara ve Elazığ arıtma çamuru uygulamaları kontrol ve DAP uygulamasına göre beta glukozidaz enzim aktivitesini artırmıştır.
16. İzmir-Çiğili arıtma çamuru uygulanmış toprakların CO₂ çıkışı miktarları beta glukozidaz enzim aktivitesinin aksine artan çamur dozuna bağlı olarak çok

önemli değişiklik göstermemiş, çamurun 2 ve 4 ton/da dozları ile kontrol ve DAP uygulamaları istatistiksel olarak aynı gruba girmiştir. Ankara ve Elazığ arıtma çamuru uygulanmış toprakların CO₂ çıkışı miktarları ise kontrol ve DAP uygulamalarına göre fazla bulunmuştur.

17. Bütün çamur çeşitlerinde en yüksek çamur doz uygulaması (8ton/da) MBC miktarlarını önemli ölçüde artırmıştır.
18. Ankara ve Elazığ çamuru uygulanmış topraklarda qCO₂ oranı kontrole göre azalmış bu Ankara ve Elazığ çamuru uygulanmış toprakların biyolojik verimliliğin arttığı anlamına gelmektedir. Çiğili çamuru uygulamalarında ise önemli bir fark belirlenmemiştir.

4.3 Tarla Denemesi

Sera denemesinin başlatılmasını takiben, kontrollü koşullar dışında arazi koşullarında çamurun toprak ve bitki üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amacıyla yürütülen tarla denemesi sonuçları aşağıda verilmiştir.

4.3.1 Tarla Denemesi toprak örneklerinin pH ve elektriksel iletkenlik (EC) miktarlarındaki değişimler

2010-2011 yılı tarla denemesi ürün döneminde 8 uygulama faktörüne ilişkin 1. ay ve hasat dönemi topraklarının pH ve EC değerleri çizelge 4.15’de verilmiştir.

Toprakta pH her iki dönemde de en düşük kontrol uygulamasında, en yüksek ise 8 kg/da ve 16 kg/da azota denk çamur uygulamalarında belirlenmiştir. Çamur ilavesi toprağın pH değerini bir miktar artırmış olsa da bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Hussein vd. (2010), kireçli bir toprakta 6 dozda çamur uygulamasının arpa bitkisinin (*Hordium Vulgare*, Giza 123) verimi ile toprak özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Kireçli toprakta çamur uygulaması toprak pH’sını düşürmüş, besin element içerikleri özellikle azot ve yarıyırlı fosfor miktarları ile EC artmıştır. En fazla arpa verimi en yüksek azot içeriği olan topraklarda belirlenmiştir.

Toprakta EC değerleri 1.ay ve hasat analiz sonuçlarına göre en düşük kontrol parselinde ve en yüksek ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamasında belirlenmiştir. Her iki dönemde de bütün uygulama konularında belirlenen EC değerleri kontrol parselinden daha yüksek belirlenmiş olup, belirlenen artış $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Duncan testi sonuçları ortalamaların yanında harfli gösterim yaklaşımı ile verilmiştir. Hasat döneminde tüm çamur uygulanmış deneme konularında belirlenen EC değerleri 1.ayda belirlenen EC değerlerinden daha yüksek belirlenmiştir. EC değerinde istatistiksel olarak bir artış saptanmışsa da, bu artış bitki yetiştiriciliği için kısıtlayıcı bir tuz stresi düzeyine ulaşmamıştır. Söz konusu etkinin zamanla azalması, arıtma çamurunun etkinliğini kaybetmesi ve sulama uygulamasına bağlı olarak tuzun bitki kök bölgesinden uzaklaşması ile ilişkilendirilebilir (Aşık ve Katkat 2004, Gasc ve Lobo 2007). Araştırmada kullanılan bütün arıtma çamuru materyallerinin tuz kapsamaları sınır değer olan 2-4 dS/m'den düşük olup tuzluluk açısından bir sorun teşkil etmemesine rağmen özellikle su bilançosu negatif olan bölge topraklarında sulu tarım uygulamalarında arıtma çamurunun kullanılmasında dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamakta yarar grlmektedir.

Çizelge 4.15 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların pH ve EC değerleri üzerine etkisi

Uygulama	pH 1.ay	pH Hasat	EC dS/cm 1. ay	EC dS/cm Hasat
A	7,50D	7,08B	0,057C	0,062C
B	7,83D	7,13B	0,060C	0,060C
C	7,68D	7,94A	0,070C	0,140B
D	7,87D	7,82A	0,127BC	0,157B
E	7,79D	7,63A	0,145AB	0,180B
F	7,52D	7,85A	0,202A	0,275A
G	7,60D	7,86A	0,097BC	0,112BC
H	7,67D	7,84A	0,072C	0,107BC
LSD<0.05	0,325		0,066	

Büyük harf düşey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

LSD: Least Significant Difference.

D: nemli Değil.

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol

0 kg/da çamur

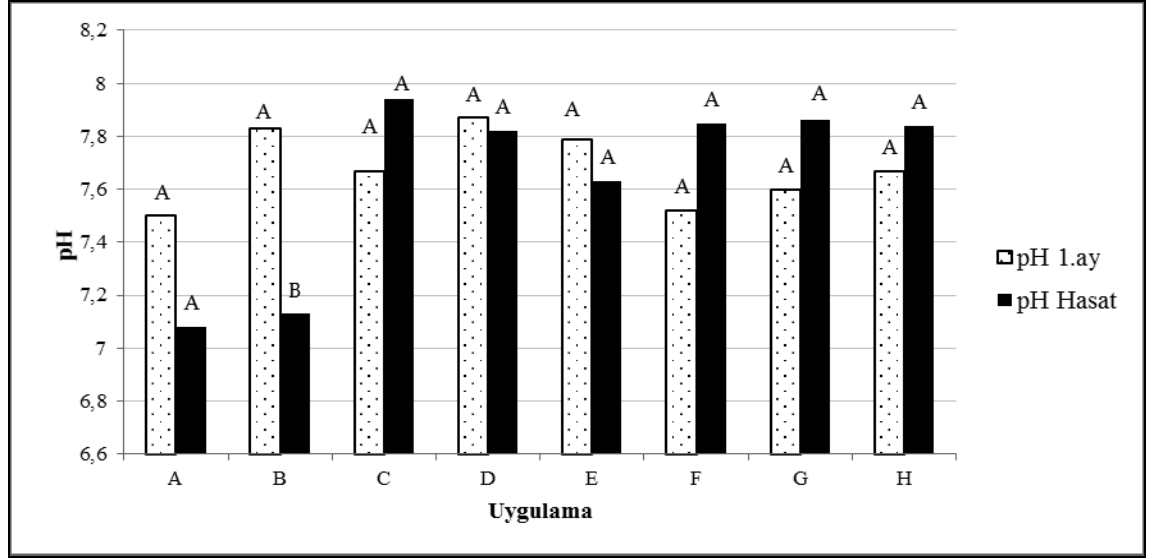
B: DAP (2,5 kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *

0 kg/da çamur

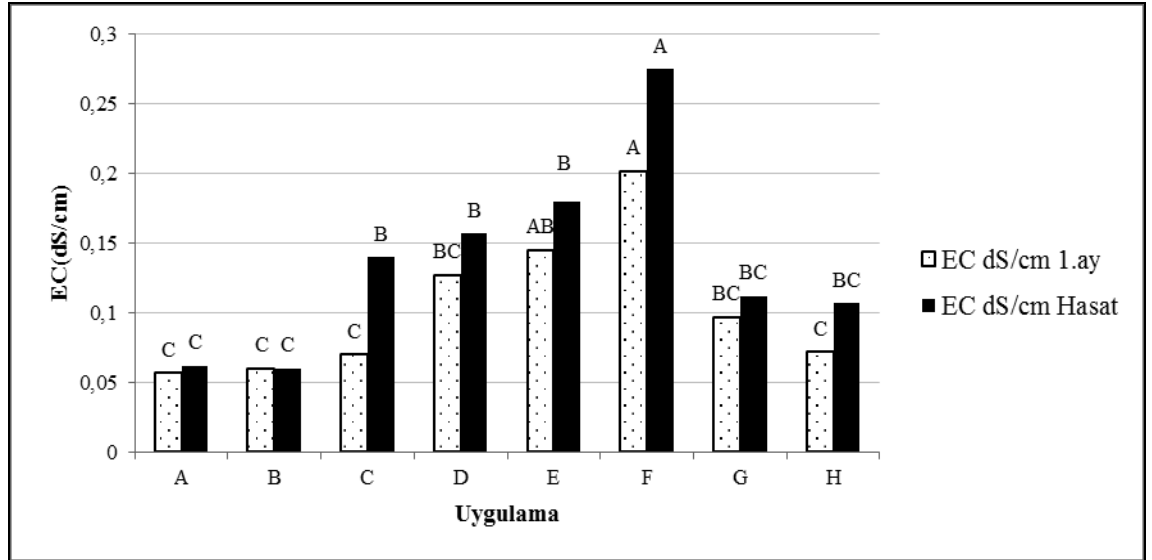
C: 4 kg/da azota denk çamur

490 kg/da amur

D: 8 kg/da azota denk çamur 980 kg/da çamur
E: 16 kg/da azota denk çamur 1960 kg/da çamur
F: 32 kg/da azota denk çamur 3920 kg/da çamur
G: 4 kg/da azota denk çamur + 4kg kimyasal N* 490 kg/da çamur
H: 6 kg/da azota denk çamur + 2kg kimyasal N* 735 kg/da çamur
*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)



Şekil 4.37 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların pH miktarı üzerine etkisi



Şekil 4.38 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların EC miktarı üzerine etkisi

4.3.2 Tarla denemesi toprak örneklerinin kireç miktarlarındaki değişimler

2010-2011 yılı tarla denemesi ürün döneminde 8 uygulama faktörüne ilişkin 1. ay ve hasat dönemi topraklarının kireç değerleri çizelge 4.16’de verilmiştir.

Toprakta her iki dönemde de belirlenen kireç değerleri uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli bir değişikliğe neden olmamıştır.

Çizelge 4.16 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların kireç kapsamı üzerine etkisi

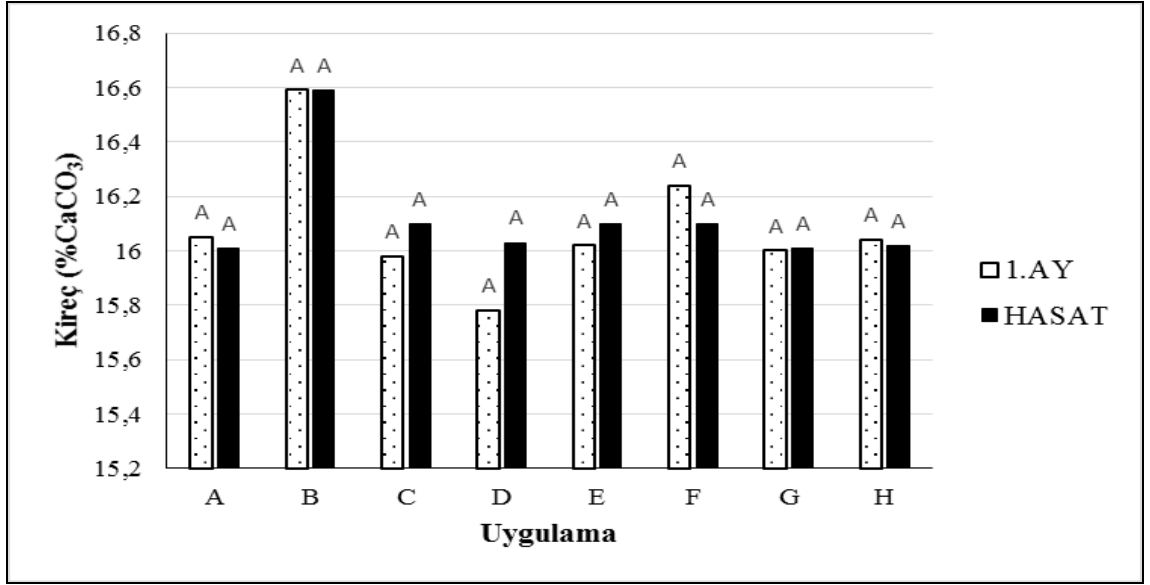
KİREÇ (%)		
	1.AY	HASAT
A	16,05ÖD	16,01ÖD
B	16,59ÖD	16,59ÖD
C	15,98ÖD	16,10ÖD
D	15,78ÖD	16,03ÖD
E	16,02ÖD	16,10ÖD
F	16,24ÖD	16,10ÖD
G	16,00ÖD	16,01ÖD
H	16,04ÖD	16,02ÖD
LSD<0.05	2,86	

Büyük harf düşey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

LSD: Least Significant Difference. ÖD: Önemli Değil.

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol	0 kg/da çamur
B: DAP (2,5 kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *	0 kg/da çamur
C: 4 kg/da azota denk çamur	490 kg/da çamur
D: 8 kg/da azota denk çamur	980 kg/da çamur
E: 16 kg/da azota denk çamur	1960 kg/da çamur
F: 32 kg/da azota denk çamur	3920 kg/da çamur
G: 4 kg/da azota denk çamur + 4 kg kimyasal N*	490 kg/da çamur
H: 6 kg/da azota denk çamur + 2 kg kimyasal N*	735 kg/da çamur

*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)



Şekil 4.39 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların kireç miktarı üzerine etkisi

4.3.3 Tarla denemesi toprak örneklerinin organik madde (OM) ve katyon değişim kapasitesi (KDK) miktarlarındaki değişimler

2010-2011 yılı tarla denemesi ürün döneminde 8 uygulama faktörüne ilişkin 1. ay ve hasat dönemi topraklarının organik madde ve KDK kapsamı çizelge 4.17’de verilmiştir.

Toprakta OM ve KDK değerleri 1.ay ve hasat analiz sonuçlarına göre en düşük kontrol parselinde, en yüksek ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamasında belirlenmiştir. Her iki dönemde de bütün uygulama konularında belirlenen OM ve KDK değerleri kontrol parselinden daha yüksek belirlenmiş olup, belirlenen artış $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Duncan testi sonuçları ortalamaların yanında harfli gösterim yaklaşımı ile verilmiştir. Wang vd. (2008), yaptıkları çalışmada arıtma çamuru dozları arttıkça toprakta besin maddesi içeriklerinin özellikle de organik madde miktarının arttığını bildirmişlerdir. Casado vd. (2007), toprağa 3 ayrı dozlarda (3, 6 ve 9 kg kompost/m²) çamur uygulamasının toprağın fizikokimyasal özellikleri ile tatlı biber bitkisi (*Capsicum annuum* var. *annuum*) verimi üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada kireçli bahçe

toprağı kullanılmıştır. Tarla ve sera olmak üzere iki ayrı deneme yürütülen çalışmada toprağın OM, azot, yarıyışlı P, kapsamı çamur ilavesiyle artmış, 9 kg kompost çamur/m² uygulanmış topraklarda ise toprağın EC ve tuz kapsamı ile ağır metal miktarlarının (Pb>Cr>Cd) arttığı belirlenmiştir.

Çizelge 4.17 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların OM ve KDK kapsamı üzerine etkisi

Uygulama	OM % 1.ay	OM % Hasat	KDK me/100g 1. ay	KDK me/100g Hasat
A	1,59E	1,43C	43,23B	43,39C
B	1,68DE	1,55C	44,15AB	44,02BC
C	2,16CD	2,09B	44,75A	45,35AB
D	2,30BC	1,93BC	44,25AB	44,95AB
E	2,64AB	2,17B	44,75A	45,45BC
F	2,85A	2,72A	44,50AB	45,86A
G	1,96DE	2,27AB	44,50AB	45,60A
H	2,14CD	1,80BC	43,79AB	45,38AB
LSD<0.05	0,483		1,214	

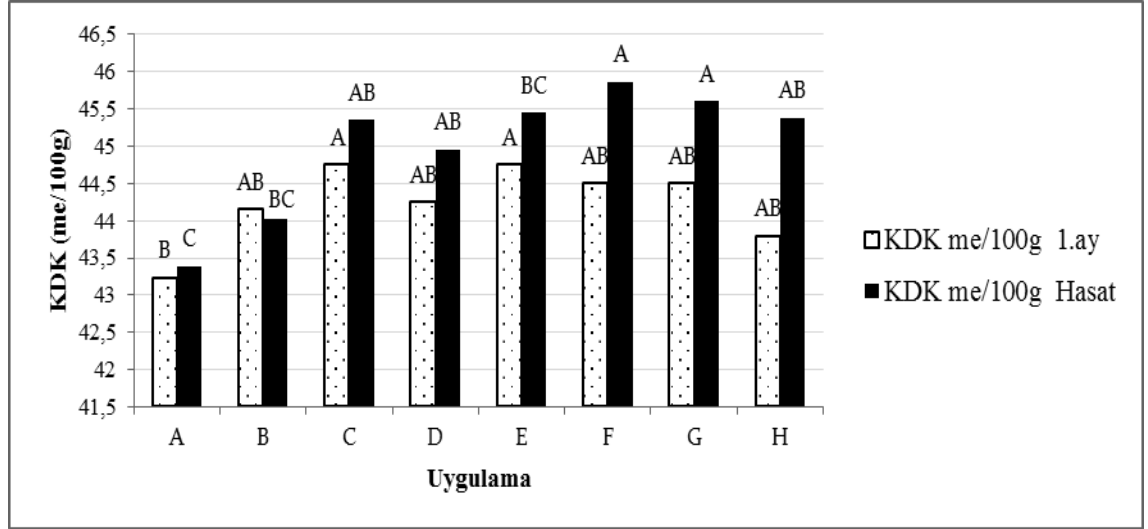
Büyük harf düşey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma (P<0.05);

LSD: Least Significant Difference.

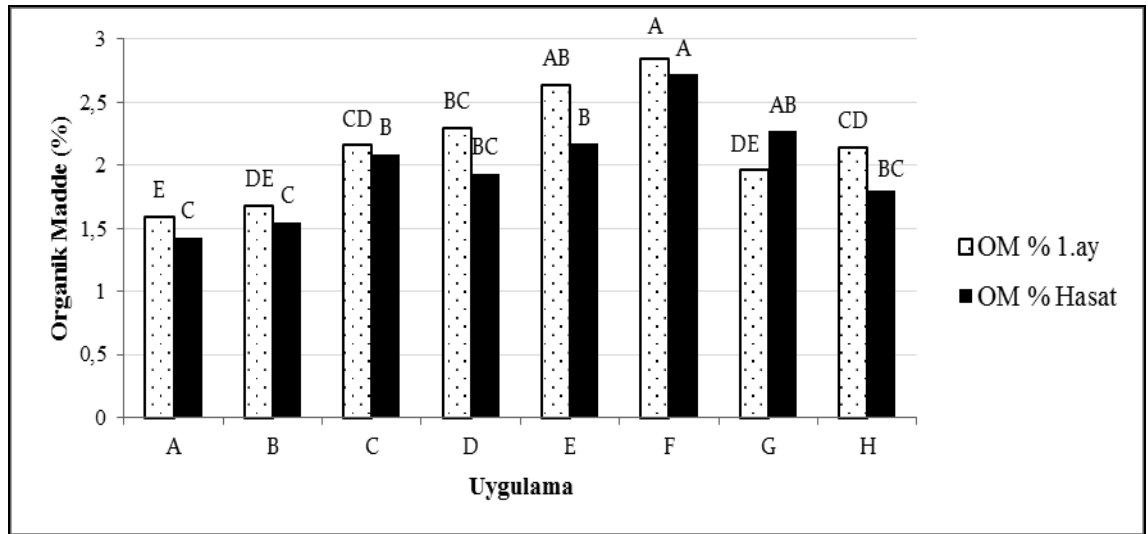
ÖD: Önemli Değil.

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol	0 kg/da çamur
B: DAP (2,5kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *	0 kg/da çamur
C: 4 kg/da azota denk çamur	490 kg/da çamur
D: 8 kg/da azota denk çamur	980 kg/da çamur
E: 16 kg/da azota denk çamur	1960 kg/da çamur
F: 32 kg/da azota denk çamur	3920 kg/da çamur

G: 4 kg/da azota denk çamur + 4kg kimyasal N* 490 kg/da çamur
H: 6 kg/da azota denk çamur + 2kg kimyasal N* 735 kg/da çamur
*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)



Şekil 4.40 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların KDK miktarı üzerine etkisi



Şekil 4.41 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların OM miktarı üzerine etkisi

4.3.4 Tarla Denemesi Toprak Örneklerinin Azot Miktarlarındaki Değişimler

2010-2011 yılı tarla denemesi ürün döneminde 8 uygulama faktörüne ilişkin 1. ay ve hasat dönemi topraklarının toprak azotu değerleri çizelge 4.18’de verilmiştir. Toprakta

toplam azot ve amonyum azotu değerleri 1.ay ve hasat analiz sonuçlarına göre en düşük olarak kontrol parselinde ve en yüksek olarak da 32 kg/da azota denk çamur uygulamasında belirlenmiştir. Her iki dönemde de bütün uygulama konularında belirlenen toplam ve amonyum azotu değerleri kontrol parselinden daha yüksek belirlenmiştir. Ancak, bütün uygulama konularında toprakların toplam ve amonyum azot değerlerinin kontrol topraklarında (hasat toprağı toplam azot hariç) belirlenen değerlerin üzerinde belirlenmesi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Hasat dönemi topraklarının toplam azot değerlerinde ise başlangıç topraklarına göre önemli artışlar belirlenmiş, çamur uygulamalarında belirlenen yüksek azot değerleri ile kontrol uygulama arasında $P<0,05$ düzeyinde önemli fark belirlenmiştir. Toprakta 450-900 mg/kg N yetersiz, 900-1700 mg/kg N bulunması yeterli iken, 1700-3200 mg/kg N fazla olarak değerlendirilmektedir. Buna göre, başlangıç topraklarında F uygulaması hariç diğer tüm uygulamalarda N yetersiz, hasat topraklarında ise kontrol parsellerinde yetersiz N bulunmakta, diğer uygulamalarının tamamında fazla N bulunmaktadır.

1. ay topraklarında toprakların nitrat azot değerlerinde artan çamur dozuna bağlı olarak belirlenen artış $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuş, ancak hasat dönemi topraklarında belirlenen uygulamalar arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Duncan testi sonuçları ortalamaların yanında harfli gösterim yaklaşımı ile verilmiştir. Toprakta nitrat konusu, Avrupa Birliği Nitrat Yasasıyla birlikte çok önemli duruma gelmiştir. Nitratın besin maddesi olarak değeri (Sommers 1977, O’Riordan 1987) yanında özellikle fazla hareketliliği nedeniyle potansiyel kirletici olarak önem kazanmıştır (Hernandez vd. 1991). Organik azotun mineralizasyonunu kompleks bir dizi toprak olayları (toprak tipi, toprak pH’sı, toprak sıcaklığı, toprak nemi ve uygulanan çamur karakterine bağlı olaylar) sonucunda ve bu olayların etkisi derecesinde olmaktadır (Epstein vd. 1978, Anonim 1983, Sims 1990). Bu araştırmada da, uygulamaların toprak nitrat kapsamındaki değişimleri yıllarda tekrarlanan çamur uygulamasına ve çakılı deneme nedenine bağlı etkisinden olabileceği düşünülebilir.

Çizelge 4.18 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların azot kapsamı üzerine etkisi

Uygulama	N 1.ay	N Hasat	NH ₄ 1. ay	NH ₄ Hasat	NO ₃ 1. ay	NO ₃ Hasat
A	0,038ÖD	0,019B	6,77B	6,98ÖD	16,37C	12,38ÖD
B	0,050ÖD	0,17AB	5,62B	7,14ÖD	36,52BC	24,13ÖD
C	0,065ÖD	0,22A	7,55B	10,64ÖD	25,22C	41,70ÖD
D	0,072ÖD	0,19A	7,10B	4,62ÖD	58,40AB	16,76ÖD
E	0,07ÖD	0,26A	8,03B	4,09ÖD	62,32AB	18,41ÖD
F	0,090ÖD	0,29A	29,15A	9,02ÖD	77,02A	39,80ÖD
G	0,057ÖD	0,27A	7,72B	6,47ÖD	34,67BC	27,40ÖD
H	0,067ÖD	0,20A	7,62B	8,36ÖD	33,52BC	38,27ÖD
LSD<0.05	0,121		5,782		27,290	

Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

LSD: Least Significant Difference.

ÖD: Önemli Değil.

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol

B: DAP (2,5 kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *

C: 4 kg/da azota denk çamur

D: 8 kg/da azota denk çamur

E: 16 kg/da azota denk çamur

F: 32 kg/da azota denk çamur

G: 4 kg/da azota denk çamur + 4kg kimyasal N*

H: 6 kg/da azota denk çamur + 2kg kimyasal N*

*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH₄NO₃)

0 kg/da çamur

0 kg/da çamur

490 kg/da çamur

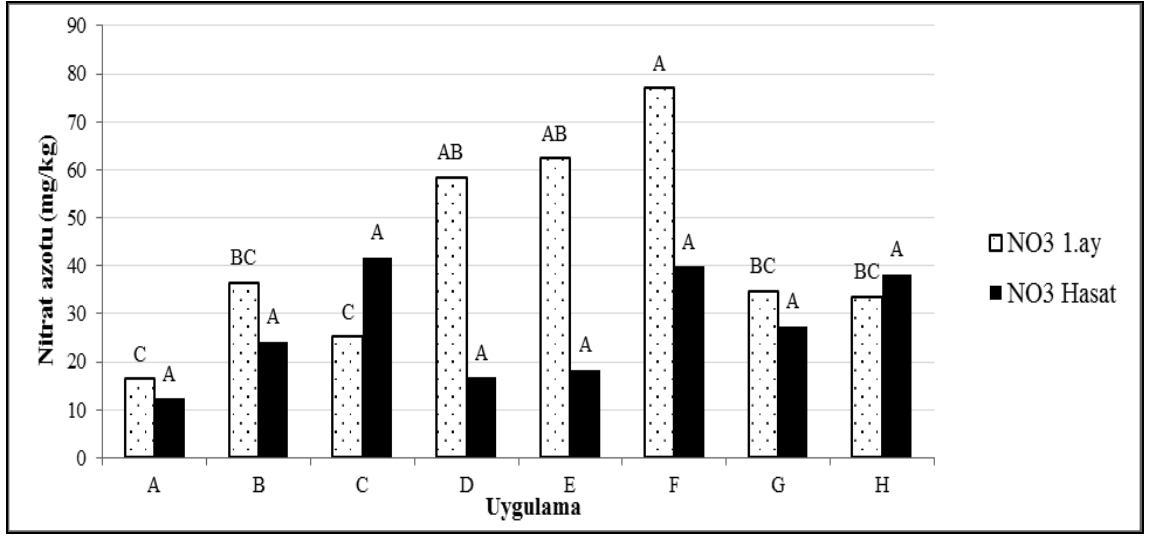
980 kg/da çamur

1960 kg/da çamur

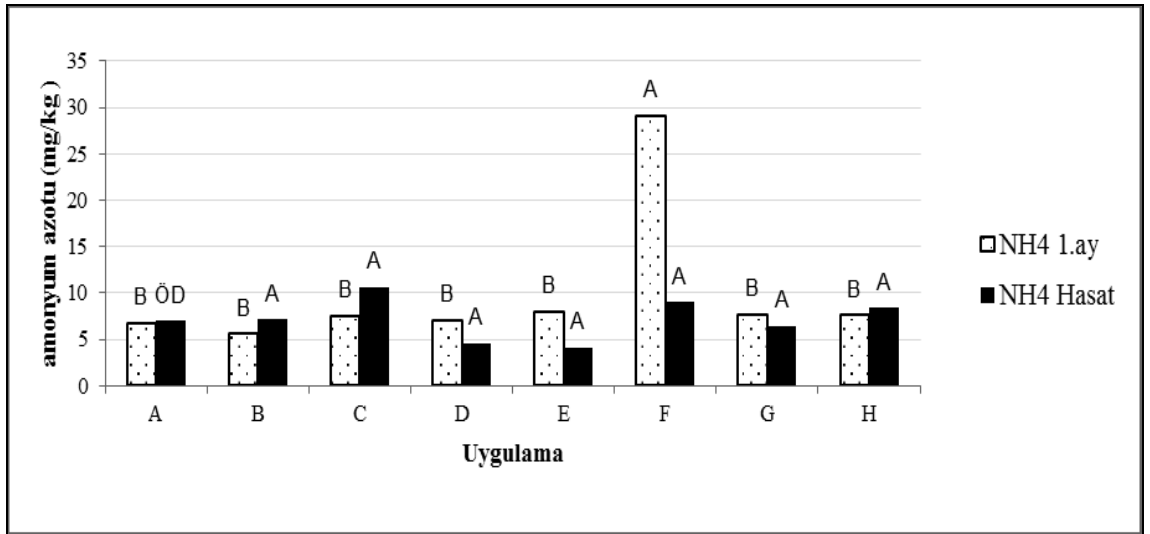
3920 kg/da çamur

490 kg/da çamur

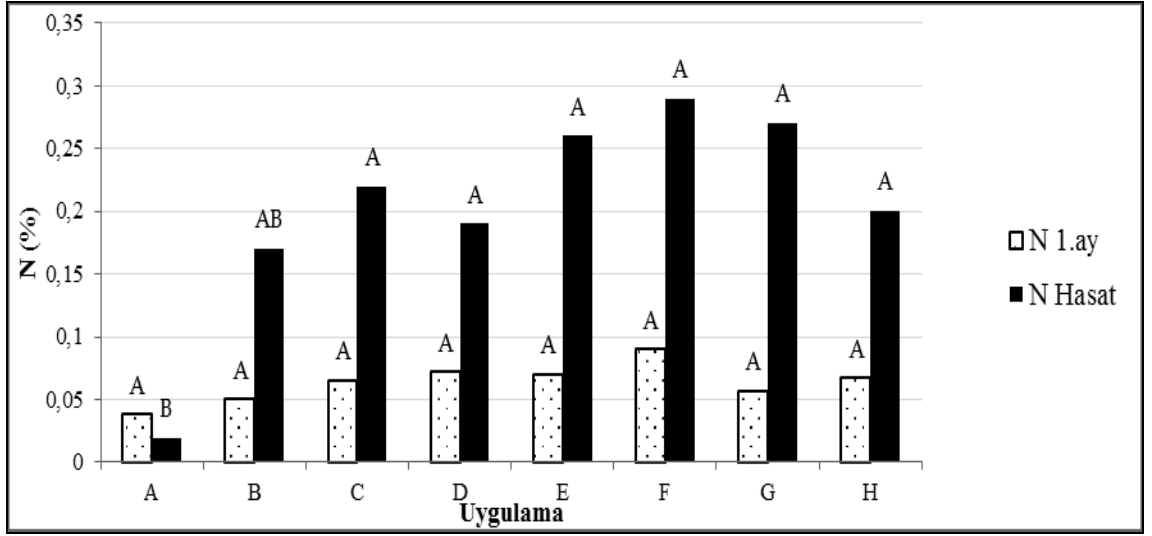
735 kg/da çamur



Şekil 4.42 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların N-NO₃ kapsamı üzerine etkisi



Şekil 4.43 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların N-NH₄ kapsamı üzerine etkisi



Şekil 4.44 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların azot kapsamı üzerine etkisi

Azot, çamurun uygulanma hızını belirleyen en önemli parametredir. Arıtma çamurlarındaki azot yüzdesi çamurun tipine bağlı olarak %1,8 ile %5,9 arasında değişmektedir. Arıtma çamurunun toprağa verilmesinden sonra mevcut NH_4 'un büyük bir kısmı nitrata (NO_3^-) dönüşmektedir. Özellikle rutubetli bölgelerde toprağa, ürünün ihtiyaç duyduğundan daha fazla miktarda verilen azot, topraktan sızabilmekte ve nitratin yeraltı sularına bulaşmasına neden olabilmektedir. Bu yüzden tarımsal uygulamalarda, toprağa uygulanacak çamurdaki yıllık azot miktarının hesabında, yetiştirilecek tarımsal ürünün ihtiyaç duyduğu azot miktarları baz alınmaktadır (Uzun ve Bilgili 2011). Arıtma çamuru ilave edildiğinde toprakta toplam azotun arttığı gözlenmiştir. Bu durum beklenen bir sonuç olup Hernandez vd. (1991) tarafından yapılan çalışmalarında da belirtilmiştir.

4.3.5 Tarla denemesi toprak örneklerinin Fosfor ve Potasyum miktarlarındaki değişimler

2010-2011 yılı tarla denemesi ürün döneminde 8 uygulama faktörüne ilişkin 1. ay ve hasat dönemi topraklarının yarıyıllık fosfor ve değişebilir potasyum değerleri çizelge 4.19'de verilmiştir.

Toprakta yarayışlı fosfor değerleri 1.ay ve hasat analiz sonuçlarına göre en düşük fosfor kontrol parselinde ve en yüksek fosfor ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamasında belirlenmiştir. Her iki dönemde de bütün uygulama konularında belirlenen yarayışlı fosfor değerleri kontrol parselden daha yüksek belirlenmiştir. Ancak, bütün uygulama konularında toprakların yarayışlı fosfor değerlerinin kontrol topraklarında belirlenen değerlerin üzerinde belirlenmesi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Verimlilik açısından değerlendirildiğinde toprakta 3-8 mg/kg P az, 8-25 mg/kg P yeterli ve 25-80 mg/kg P fazla olarak değerlendirilmekte, buna göre her iki dönem toprak rneklemesinde de tüm uygulamalarda toprakların P içerikleri yeterli durumdadır, sadece hasat toprağı F uygulamasında (en yüksek çamur uygulaması) toprak yarayışlı fosforu 35 mg/kg ile fazla durumdadır.

Hernandez vd. (1991), artan dozda arıtma çamuru uygulamasının toprakta alınabilir fosforu artırdığını, toprak örneklerinde alınabilir fosfor değerlerinin 19,32-24,12 mg kg⁻¹ arasında olduğunu belirlemişlerdir. Bunun açıklamasında da toprak+çamur kapsamında fosforun bir kısmının humifikasyon periyodu boyunca mineralizasyona bağlı olarak alınabilir forma dönüşmesinden kaynaklanmaktadır. Lerch vd. (1990), atık çamurların tarım alanlarında (kuru tarım, kışlık buğday) uygulama oranlarının neler olabileceğini araştırmışlardır. Araştırmacılar arid koşullarda kışlık buğday – nadas amenajman sisteminde 3 ton acre⁻¹ (741,3 kg da⁻¹) atık çamurun maksimum emniyet düzeyi olduğunu ve bu dozun yüksek uygulama oranlarında gözlenen ağır metal birikmesi ve nitrat kirliliği sorunları olmaksızın bitkilere N, P sağladığını ve ayrıca buğdayda tanenin protein miktarını olumlu etkilediğini de belirtmişlerdir.

Toprakların değişebilir potasyum değerleri ise, her iki toprak örnekleme döneminde de en düşük potasyum kontrol parselinde ve en yüksek potasyum ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamasında belirlenmiş olup, belirlenen artış P<0,05 düzeyinde önemli bulunmuştur. Duncan testi sonuçları ortalamaların yanında harfli gösterim yaklaşımı ile verilmiştir. Toprakta 200 - 300 mg/kg potasyum bulunması yeterli olup, deneme parsellerinin tamamında potasyum yeterli durumdadır.

Çoğu arıtma çamurunda potasyum düşük miktarlarda bulunmaktadır. Arıtma çamurunda bulunan potasyumun hemen hemen tümü inorganik formlarda bulunmaktadır. Bu nedenle çamur toprağa verildiğinde bitkiye yararışlı hale geçmesi için mineralize olmasına gerek yoktur (Aksu 2008).

Çizelge 4.19 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların yararışlı Fosfor ve eğişebilir Potasyum kapsamaları (mg/kg) üzerine etkisi

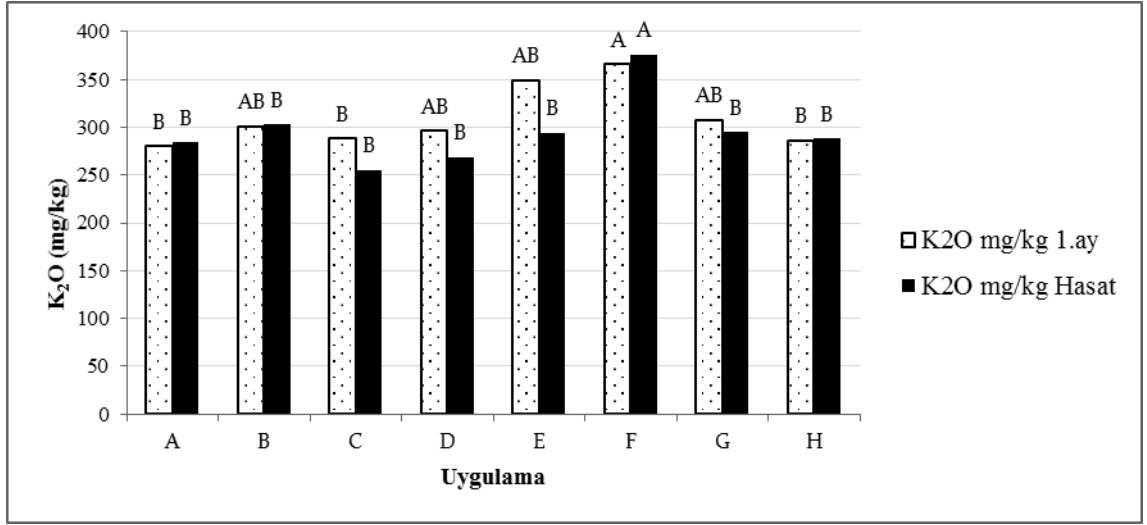
Uygulama	P ₂ O ₅ 1.ay	P ₂ O ₅ Hasat	K ₂ O 1. ay	K ₂ O Hasat
A	12,4ÖD	17,0ÖD	280B	284B
B	17,9ÖD	20,0ÖD	301AB	303B
C	19,6ÖD	20,03ÖD	288B	255B
D	13,1ÖD	25,0ÖD	296AB	269B
E	17,8ÖD	3,02ÖD	349AB	294B
F	17,9ÖD	35,0ÖD	366A	376A
G	17,3ÖD	20,0ÖD	308AB	295B
H	0,184ÖD	0,25ÖD	286B	288B
LSD<0.05	13,64		67,81	

Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

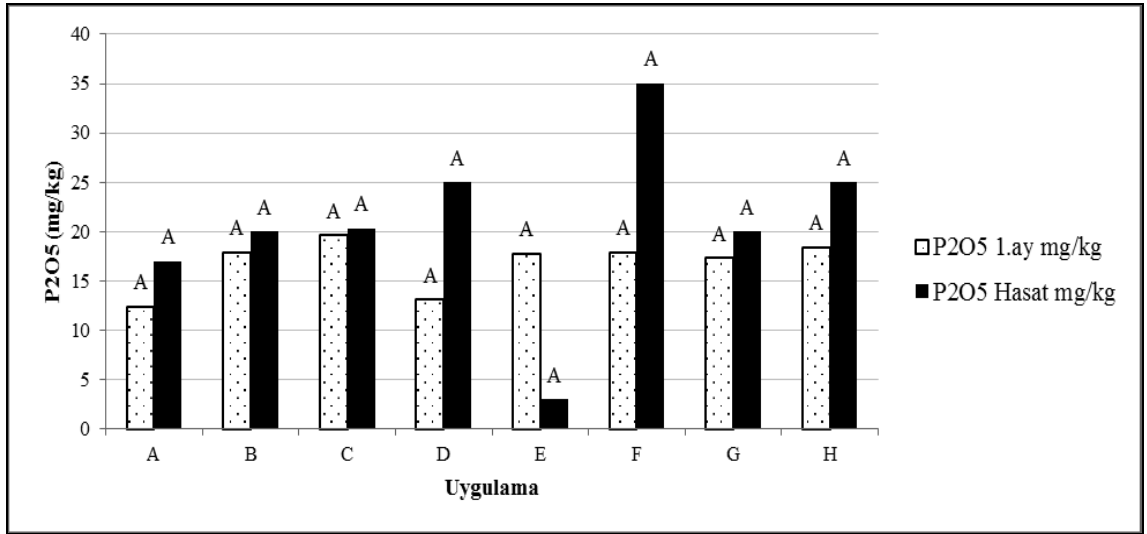
LSD: Least Significant Difference.

ÖD: Önemli Değil.

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol	0 kg/da çamur
B: DAP (2,5 kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *	0 kg/da çamur
C: 4 kg/da azota denk çamur	490 kg/da çamur
D: 8 kg/da azota denk çamur	980 kg/da çamur
E: 16 kg/da azota denk çamur	1960 kg/da çamur
F: 32 kg/da azota denk çamur	3920 kg/da çamur
G: 4 kg/da azota denk çamur + 4 kg kimyasal N*	490 kg/da çamur
H: 6 kg/da azota denk çamur + 2 kg kimyasal N*	735 kg/da çamur
*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH ₄ NO ₃)	



Şekil 4.45 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların potasyum kapsamı üzerine etkisi



Şekil 4.46 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların fosfor kapsamı üzerine etkisi

4.3.6 Tarla denemesi toprak örneklerinin toplam ağır metal miktarlarındaki değişimler

2010-2011 yılı tarla denemesi ürün döneminde 8 uygulama faktörüne ilişkin 1. ay ve hasat dönemi topraklarının Toplam Cd, Pb ve Ni değerleri çizelge 4.20, Toplam Cr, Zn ve Cu değerleri de çizelge 4.21’da verilmiştir.

Toprakta toplam Cd her iki dönemde de diğer sonuçların aksine, en düşük 32 kg/da azota denk çamur uygulamasında, en yüksek ise kontrol uygulamasında belirlenmiştir. Artan çamur ilavesine bağlı olarak toprakların toplam Cd değerlerinde azalma belirlenmiş ve dozlar arasındaki fark $P < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Her iki örnekleme zamanı ele alındığında ise, kontrol ve kimyasal gübre uygulamasında Cd değerleri değişiklik göstermemiş ancak çamur uygulanmış topraklarda hasat topraklarında başlangıç topraklarına göre istatistiksel olarak önemli olmasa da artışlar belirlenmiştir. Bu türden yapılan çalışmalarda özellikle uzun süreli çamur uygulamaları sonucunda topraklarda birikim (akümülayon) olduğu görüşünü savunan araştırmacılar çamurun mineralizasyon süreci boyunca toprak özelliklerinin bu sonuçları etkilediklerini ayrıca belirtmektedirler (Grant vd. 1998, Basta ve Tabatabai 1992, Kabata-Pendias vd. 2001, Nan vd. 2002). Kabata-Pendias ve Pendias (1992), tarımda kullanılabilir topraklara ağır metallerin Maksimum Kabul Edilebilir Yükleme (MAL) ve Maksimum Kabul Edilebilir Konsantrasyonları (MAC) ile ilgili oldukça önemli kriterler koymuşlardır. Ayrıca, bu metallerden Cd'un tüm diğer mikro besin elementi ve ağır metallerden daha fazla biyoakümülayona uğradığını belirtmişlerdir. Alloway (1995), İngiltere'de evsel/kentsel arıtma çamurlarında ortalama $17-23 \text{ mg kg}^{-1} \text{ KM}$ ve ABD'de $16 \text{ mg kg}^{-1} \text{ KM}$ Cd olduğunu bildirmiştir. Ayrıca araştırmacı dokularında $3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Cd}$ içeren bitkilerle düzenli olarak beslenen insanlarda Cd toksisitesi görüldüğünü bildirmektedir.

Bidwell ve Dowdy (1987), arıtma çamurunun ilk yıl uygulanmasından sonra toprakta Cd miktarında azalma olduğunu belirtmişlerdir. Bu görüşlerin aksine Haan (1975), uzun yıllar çamur uygulaması ile Cd'un biyoalınabilirliğinin de arttığını belirtmişlerdir. Araştırmacı bunun nedeninin, azotun nitrifikasyonuna bağlı olarak substratın asidifikasyonu ve çamurdaki kirecin hızlı yıkanması olduğunu ifade etmiştir. Topraktaki organik madde aracılığıyla ağır metaller metal-organik kompleksler oluştururlar. Ağır metallerin çözünürlükleri ve yarıyışlılıkları da ortamda bulunan organik substratlar tarafından azaltılmaktadır. Ağır metallerin çözünürlükleri çözünebilir organik kompleks oluşturucu komponentler tarafından artırılabilir. Ancak zamanla organik maddenin toprakta mineralizasyonu ile organik madde tarafından tutulmuş bulunan ağır metaller toprak çözeltisine geçmektedir (Yuan ve Lavkulich 1997, Arnesen ve Singh 1999,

Karaca 2004). Kısaca çamur uygulamasına bağlı olarak toprak kolloidleri tarafından ağır metaller organo-metal kompleksleri oluşturmak suretiyle toprakta tutulabilmekte, uzun vadede ise organik maddenin ayrışmasıyla toprak çözeltisine geçmektedirler.

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda metallerin biyoalınabilirliği üzerinde çalışan araştırmacıların tamamı metallerin toprakta alınabilir formda kaldığını rapor etmişlerdir. Bunlardan bir kısmı metal alınabilirliğinin üst üste çamur uygulaması ile artış gösterdiğini belirtirken (Chang vd. 1982) diğerleri ise en son çamur uygulamasında azaldığını belirtmişlerdir (Bidwell ve Dowdy 1987).

Toprakların toplam Pb kapsamları her iki dönemde de en düşük kontrol, en yüksek 32 kg/da azota denk çamur uygulamasında belirlenmiş, artan çamur dozuna bağlı olarak belirlenen artış başlangıç dönemlerinde istatistiksel olarak önemli bulunmazken, hasat topraklarında doza bağlı toplam Pb'da meydana gelen artış $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. ancak bu artışlar yönetmelik sınır değerlerini geçmemiştir. Çamur uygulanmış topraklarda hasat topraklarında başlangıç topraklarına göre istatistiksel olarak önemli olmasa da artışlar belirlenmiştir. Topraklarda Pb zenginleşmesinin temel ögeleri arasında arıtma çamurları, benzin katkı maddesi olarak kullanılan tetra-alkil ve tetra-aril bileşikler, sabunlar ve batarya türü endüstri ürünleri ilk sıralarda sayılmaktadır (Davies 1990). Arıtma çamurunda kuru maddede 1.200 mg kg⁻¹ değerlerine kadar Pb görülürken toprakta izin verilen Pb değeri 100 mg kg⁻¹ ve topraklarda değişim aralığı 0,1-20 mg kg⁻¹ Pb olarak belirtilmektedir (Kloke vd. 1993).

Toprakların toplam Ni kapsamları her iki örneklem dönemlerinde de çamur dozuna bağlı olarak artmış ve toprakların toplam Ni kapsamlarında doza bağlı toplam Ni'de meydana gelen artış $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çamur uygulanmış topraklarda hasat topraklarında başlangıç topraklarına göre istatistiksel olarak önemli artışlar belirlenmiştir ($P<0,05$).

Toprakta toplam Cr her iki dönemde de en düşük kontrol uygulamasında, en yüksek ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamalarında belirlenmiştir. Tarla denemesinin başlangıcında artan çamur dozuna bağlı olarak meydana gelen Cr artışı istatistiksel olarak önemli bulunmuş ($P<0,05$) ancak hasat topraklarında çamura bağlı Cr

kapsamlarındaki artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Hasat topraklarının başlangıç topraklarına göre çamur uygulanmış parsellerinde Cr kapsamlarında önemli azalmalar ($P<0,05$) meydana gelmiş, kontrol ve kimyasal gübre uygulamasında ise değişiklik önemli bulunmamıştır. Burada da Cd'da belirlenen sonuca benzer sonuç elde edilmiş, organik materyallerin zamanla Cr metalini bağladığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Toprakta toplam Zn değerleri 1.ay ve hasat analiz sonuçlarına göre en düşük kontrol parselinde ve en yüksek ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamasında belirlenmiştir. Her iki dönemde de bütün uygulama konularında belirlenen toplam Zn değerleri kontrol parselinden daha yüksek belirlenmiş ancak belirlenen artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.20). Hernandez vd. (1991), kireçli bir toprakta aerobik-anaerobik arıtma çamuru ile tavuk gübresini kıyaslamak amacıyla yaptıkları araştırmada, arıtma çamurlarının mısır ve buğdayda bitki verimini artırdığını, topraktaki metallere Zn, Cu ve Pb'nun toplamda ve Fe, Cu, Mn, Zn ve Pb'nun ise ekstrakte edilebilirlerde yüksek bulunduğunu saptamışlardır. Bu araştırmada Cd alımının bitkilerin türüne bağlı olarak değişim gösterdiği de belirtilmiştir.

Çizelge 4.20 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların Toplam Cd, Pb ve Ni kapsamı üzerine etkisi

Uygulama	Cd (µg/kg) 1.ay	Cd (µg/kg) Hasat	Pb (mg /kg) 1. ay	Pb (mg /kg) Hasat	Ni (mg/kg) 1. ay	Ni (mg/kg) Hasat
A	145,0A	145A	25,75ÖD	26,56B	37,25B	37,26C
B	148,7A	140,2A	26,69ÖD	27,72B	39,25AB	41,72AB
C	112,5AB	115,7AB	28,75ÖD	30,51AB	40,00AB	42,43B
D	106,2BC	108,7BC	29,00ÖD	32,36AB	40,50AB	40,96AB
E	73,7CD	75,2CD	28,50ÖD	32,10AB	39,75AB	41,67AB
F	64,0D	65,7D	30,75ÖD	35,47A	40,50AB	41,46AB
G	83,7CD	86,5CD	29,75ÖD	35,80A	41,00A	43,29AB
H	63,5D	67,0D	29,25ÖD	34,84A	40,75A	44,78A
LSD<0.05	34,41		6,271		2,982	

Büyük harf düzeyi olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P < 0.05$);

LSD: Least Significant Difference.

ÖD: Önemli Değil.

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol

B: DAP (2,5kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *

C: 4 kg/da azota denk çamur

D: 8 kg/da azota denk çamur

E: 16 kg/da azota denk çamur

F: 32 kg/da azota denk çamur

G: 4 kg/da azota denk çamur + 4kg kimyasal N*

H: 6 kg/da azota denk çamur + 2kg kimyasal N*

*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)

0 kg/da çamur

0 kg/da çamur

490 kg/da çamur

980 kg/da çamur

1960 kg/da çamur

3920 kg/da çamur

490 kg/da çamur

735 kg/da çamur

Toprakların toplam Cu kapsamı her iki dönemde de en düşük kontrol uygulamasında, en yüksek ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamalarında belirlenmiştir. Tarla denemesinin her iki örnekleme döneminde de artan çamur dozuna bağlı olarak meydana gelen Cu artışı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Hasat topraklarının başlangıç topraklarına göre tüm uygulamalarda toplam Cu kapsamlarında azalmalar meydana gelmiş ancak söz konusu azalmalar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprakların son zamanlarda Cu zenginleşmesini tarımsal ve endüstriyel faaliyetlere dayandıran araştırmacılar, arıtma çamurlarını da topraklara Cu katkısı yapan önemli kaynaklardan saymaktadırlar (Kırımhan vd. 1983, Hernandez vd. 1991, Pedrano vd. 1996).

Çizelge 4.21 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cr, Zn ve Cu kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)

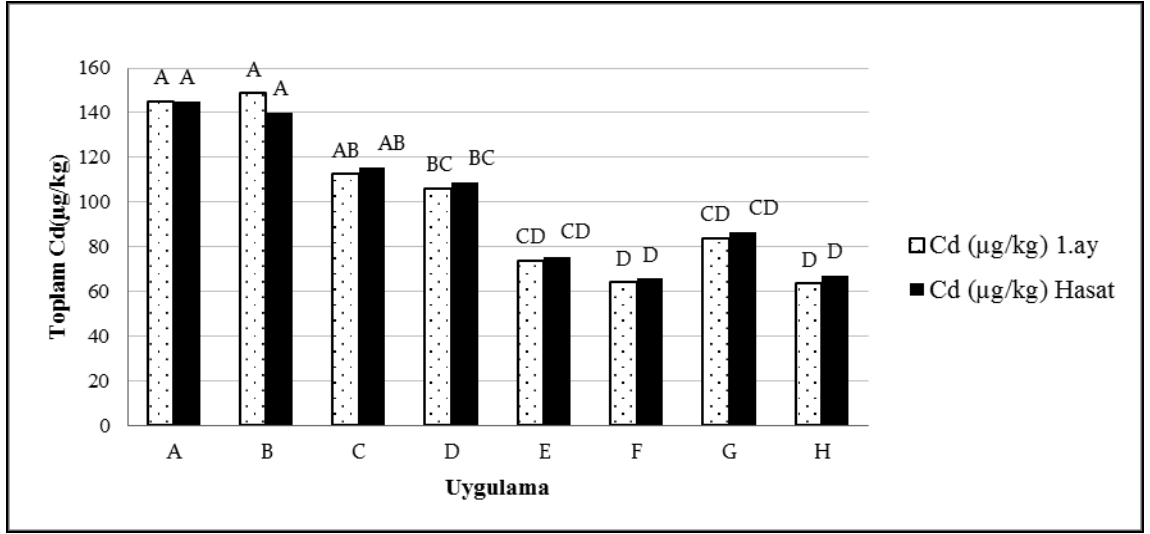
Uygulama	Cr 1.ay	Cr Hasat	Zn 1. ay	Zn Hasat	Cu 1. ay	Cu Hasat
A	16,25C	17,02ÖD	60,25ÖD	57,37ÖD	17,50A	17,94B
B	19,15 C	24,65ÖD	61,00ÖD	60,49ÖD	18,00A	18,64AB
C	18,00 C	25,07ÖD	62,50ÖD	78,27ÖD	19,12A	20,73AB
D	21,50 C	23,00ÖD	67,25ÖD	63,00ÖD	18,00B	18,08B
E	36,75	23,83ÖD	82,25ÖD	58,29ÖD	18,75B	18,69AB
F	47,75 B	24,96ÖD	86,25ÖD	60,48ÖD	18,75A	21,93A
G	42,75 A	23,92ÖD	62,00ÖD	78,67ÖD	18,50B	21,02AB
H	48,50 AB	25,98ÖD	62,00ÖD	81,25ÖD	18,75B	20,77AB
LSD<0.05	8,162		23,030		3,363	

Büyük harf düzeyi olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P < 0.05$);

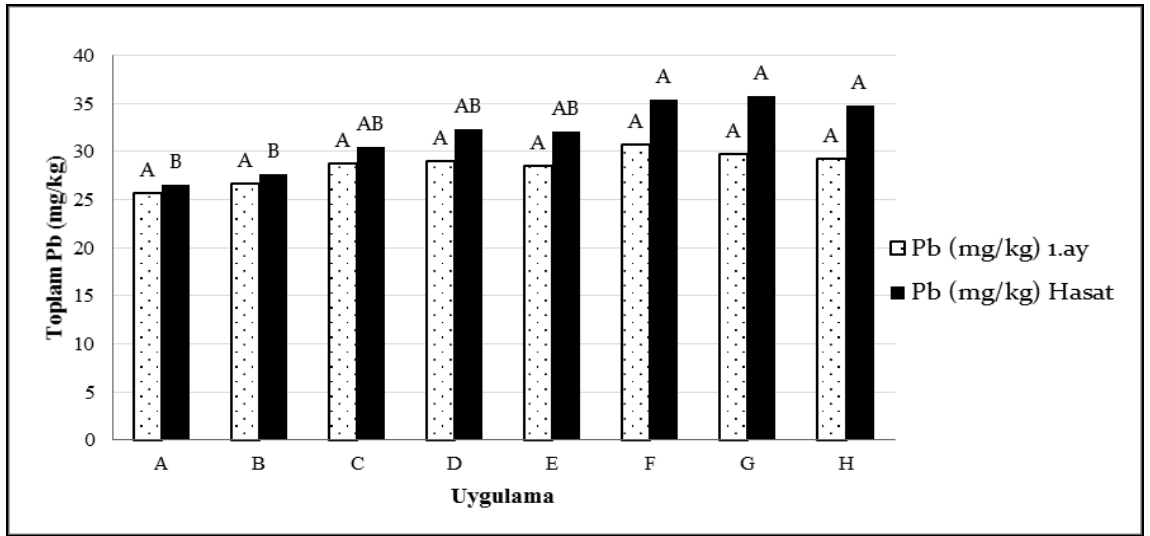
LSD: Least Significant Difference.

ÖD: Önemli Değil.

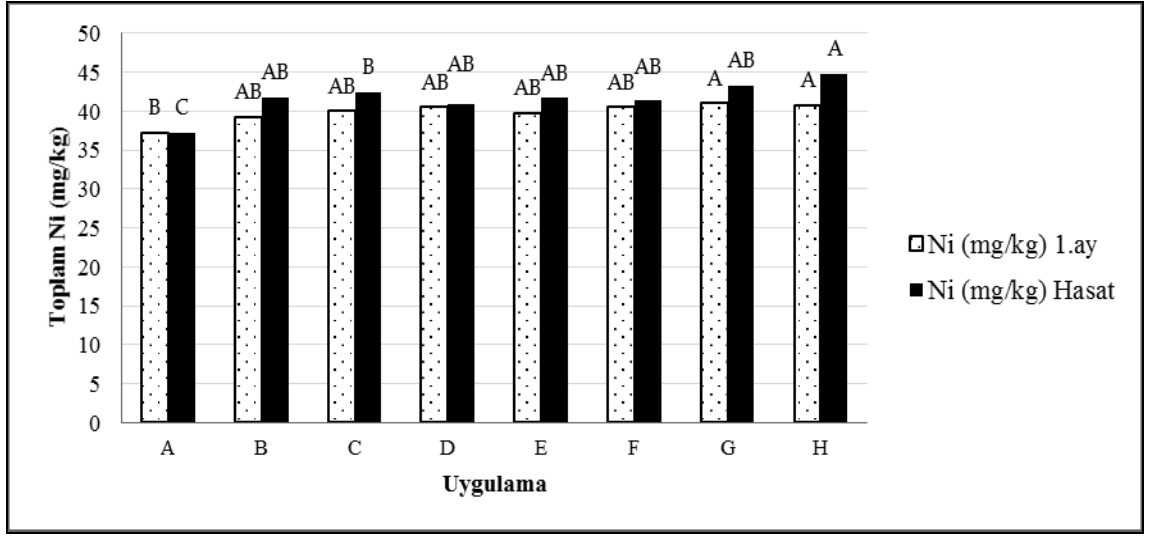
A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol	0 kg/da çamur
B: DAP (2,5 kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *	0 kg/da çamur
C: 4 kg/da azota denk çamur	490 kg/da çamur
D: 8 kg/da azota denk çamur	980 kg/da çamur
E: 16 kg/da azota denk çamur	1960 kg/da çamur
F: 32 kg/da azota denk çamur	3920 kg/da çamur
G: 4 kg/da azota denk çamur + 4 kg kimyasal N*	490 kg/da çamur
H: 6 kg/da azota denk çamur + 2 kg kimyasal N*	735 kg/da çamur
*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)	



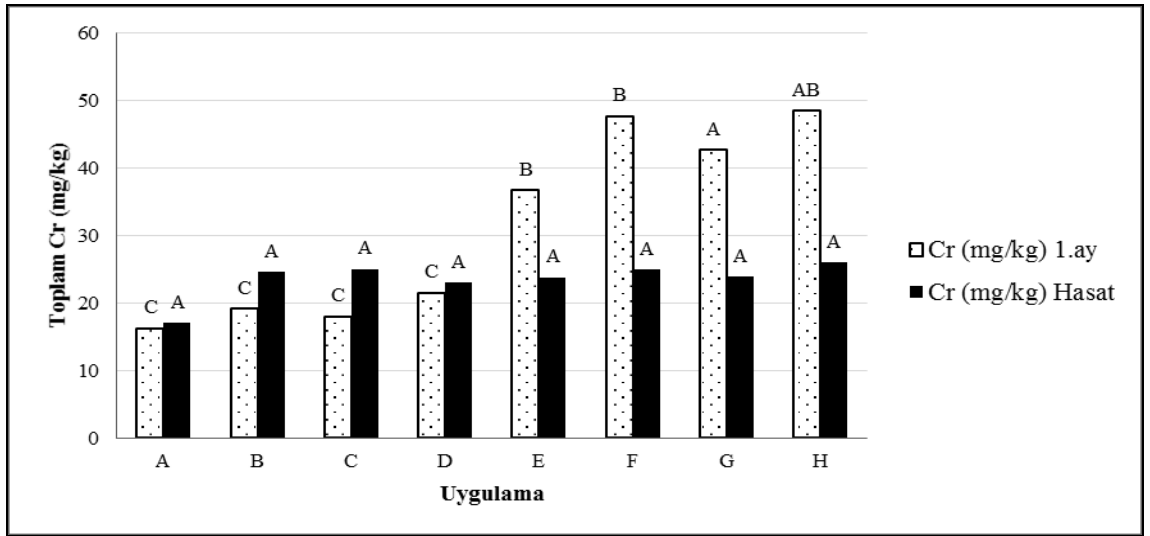
Şekil 4.47 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cd kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)



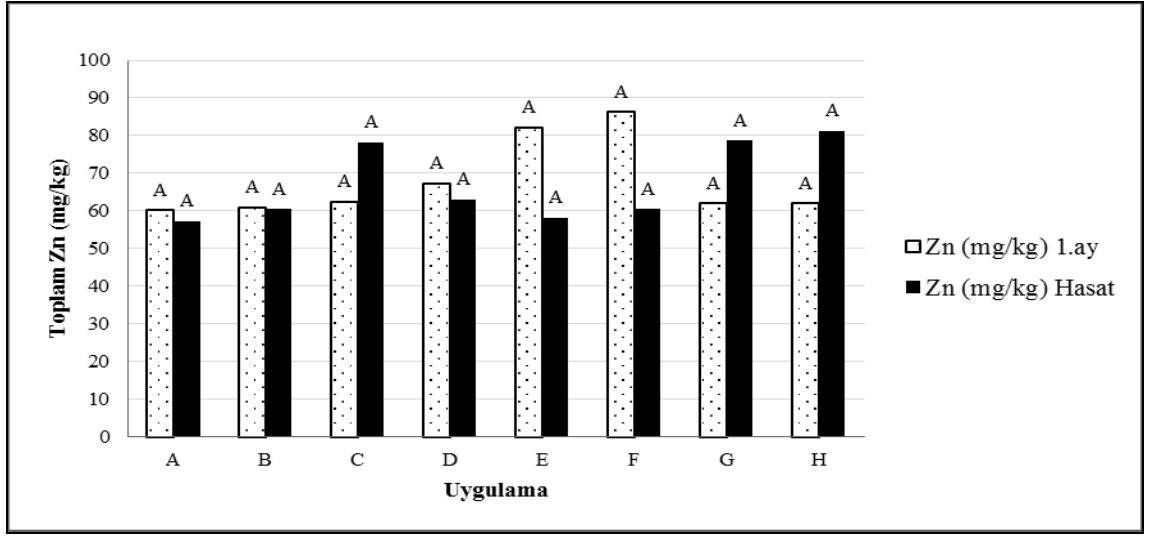
Şekil 4.48 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Pb kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)



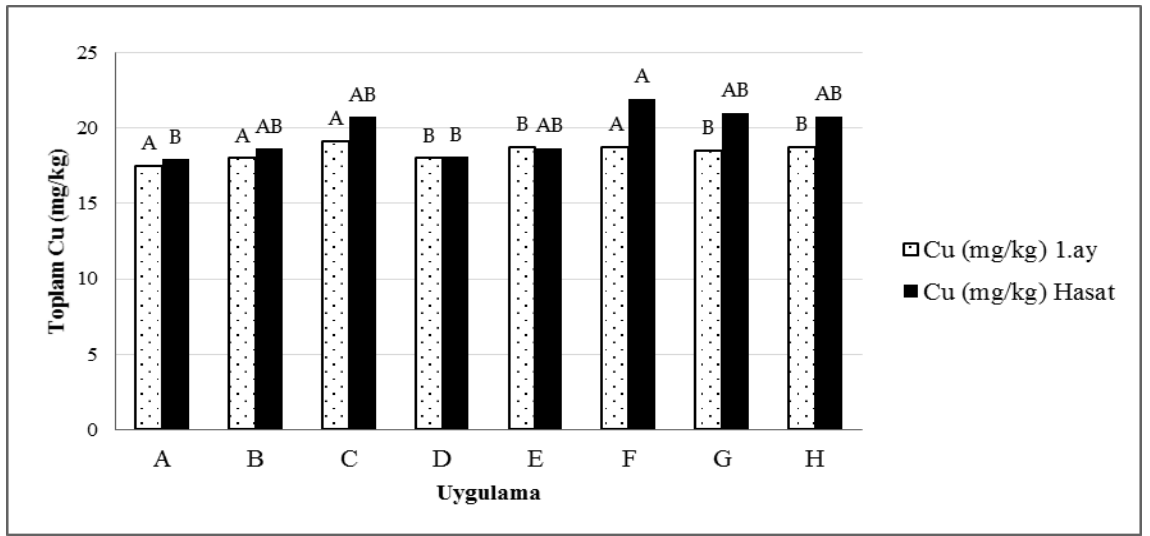
Şekil 4.49 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Ni kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)



Şekil 4.50 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cr kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)



Şekil 4.51 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Zn kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)



Şekil 4.52 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların toplam Cu kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)

4.3.7 Tarla denemesi toprak örneklerinin alınabilir ağır metal miktarlarındaki değişimler

2010-2011 yılı tarla denemesi ürün döneminde 8 uygulama faktörüne ilişkin 1. ay ve hasat dönemi topraklarının Alınabilir Cd, Pb ve Ni değerleri çizelge 4.22, Alınabilir Cr, Zn ve Cu değerleri de çizelge 4.23’de verilmiştir.

Toprakların Alınabilir Cd kapsamı toplam Cd kapsamının aksine en düşük kontrol ve en yüksek 32 kg/da azota denk çamur uygulanmış parselde belirlenmiştir. Her iki örnekleme döneminde de toprakların ekstrakte edilebilir Cd kapsamı çamur dozuna ve zamana bağlı olarak artış göstermiş ancak bu artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toprakta bulunan Cd’un bitkiye geçen miktarlarını belirlemede toprağın toplam Cd içeriğinden çok Alınabilir miktarının daha iyi bir gösterge olduğu pek çok araştırmacı tarafından saptanmıştır. Örneğin, Li vd. (1994), topraktaki toplam Cd miktarı ile bitkinin Cd kapsamı arasında çok zayıf bir ilişki olduğunu, buna karşılık alınabilir miktarının Cd birikimi için çok önemli bir gösterge olduğunu belirtmişlerdir. Alloway (1993), toprak çözeltisindeki 0,001 mg kg⁻¹ düzeyindeki Cd’u sınır değer olarak belirtmiştir. Antoniadis ve Alloway (2001) toprağa uygulanan 8 t ha⁻¹ çamur dozundan az çamur uygulamalarında toprakta Cd miktarlarının artış göstermesinin Cd ve Zn gibi hareketli metallerin toprakta alınabilirliklerini artıracak ve bunun da risk oluşturabileceğini belirtmişlerdir.

Toprakların amonyum asetat ile ekstrakte edilebilir Pb kapsamı en düşük kontrol ve en yüksek 32 kg/da azota denk çamur uygulanmış parselde belirlenmiştir. Tarla denemesinin 1. ay toprak örneklemede belirlenen ekstrakte edilebilir Pb kapsamında doza bağlı belirlenen artış P<0,05 düzeyinde önemli bulunmuş, hasat topraklarında belirlenen çamur dozuna bağlı artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. John (1972), toprakların yarıyışlı Pb kapsamının toprak pH’sı ile ekstrakte edilebilir Al ve toplam Ni miktarları ile yakından ilişkili olduğunu belirlemiştir. Kurşunun toprakta yarıyışlılığı üzerine etki yapan etmenler ile ilgili bilinenler sınırlı olmakla beraber başta toprak pH’sı olmak üzere, toprak tekstürü, kil minerallerinin cins ve miktarları, organik madde miktarı, kation ve anyonların cins ve miktarları ile toprak drenajı kurşunun yarıyışlılığı üzerine etkilidir. White vd. (1997), 9

yıl çamur uyguladıkları toprakta başlangıca göre ekstrakte edilebilir Pb değerlerinin organik maddenin mineralize olmasına bağlı olarak artış gösterdiğini belirtmişlerdir.

Çizelge 4.22 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların ekstrakte edilebilir Cd, Pb ve Ni kapsamları üzerine etkisi (mg/kg)

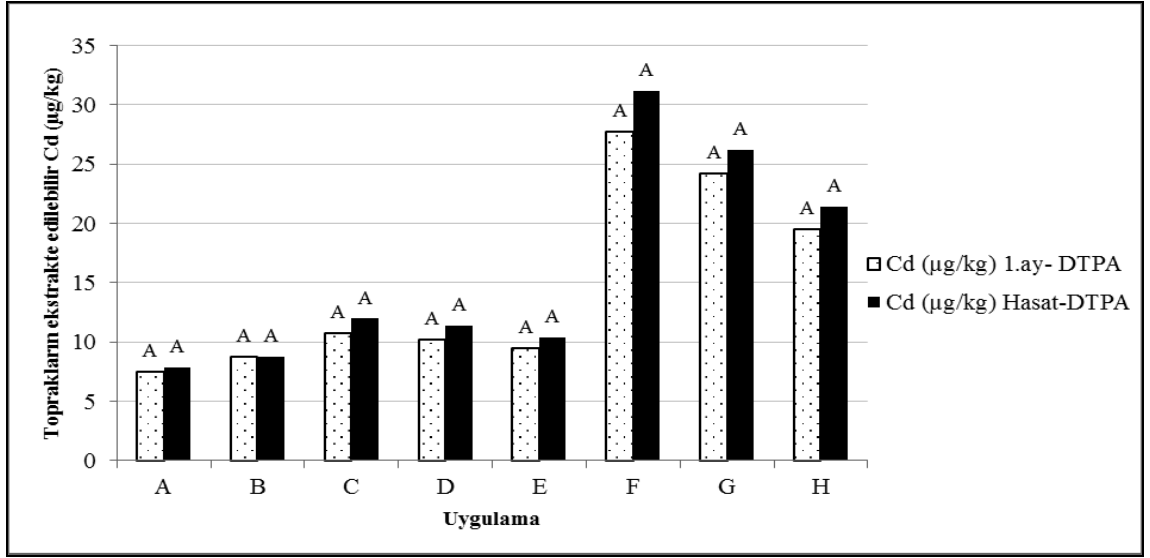
Uygulama	Cd (µg/kg) 1.ay-DTPA	Cd (µg/kg) Hasat-DTPA	Pb (µg/kg) 1. ay- NH ₄ asetat	Pb (µg/kg) Hasat-NH ₄ asetat	Ni (mg/kg) 1. ay-DTPA	Ni (mg/kg) Hasat-DTP
A	7,50ÖD	7,86ÖD	804D	769ÖD	0,316B	0,307C
B	8,75ÖD	8,79ÖD	832CD	794ÖD	0,367B	0,492BC
C	10,75ÖD	11,97ÖD	895CD	894ÖD	0,335B	0,978A
D	10,25ÖD	11,40ÖD	893CD	791ÖD	0,471B	0,579BC
E	9,50ÖD	10,38ÖD	1137A	902ÖD	0,903A	0,948A
F	27,75ÖD	31,20ÖD	1110AB	926ÖD	0,947A	0,995A
G	24,25ÖD	26,24ÖD	936CD	880ÖD	0,437B	0,809AB
H	19,50ÖD	21,41ÖD	1009BC	804ÖD	0,453B	0,752AB
LSD<0.05	23,081		167,56		0,383	

Büyük harf düşey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

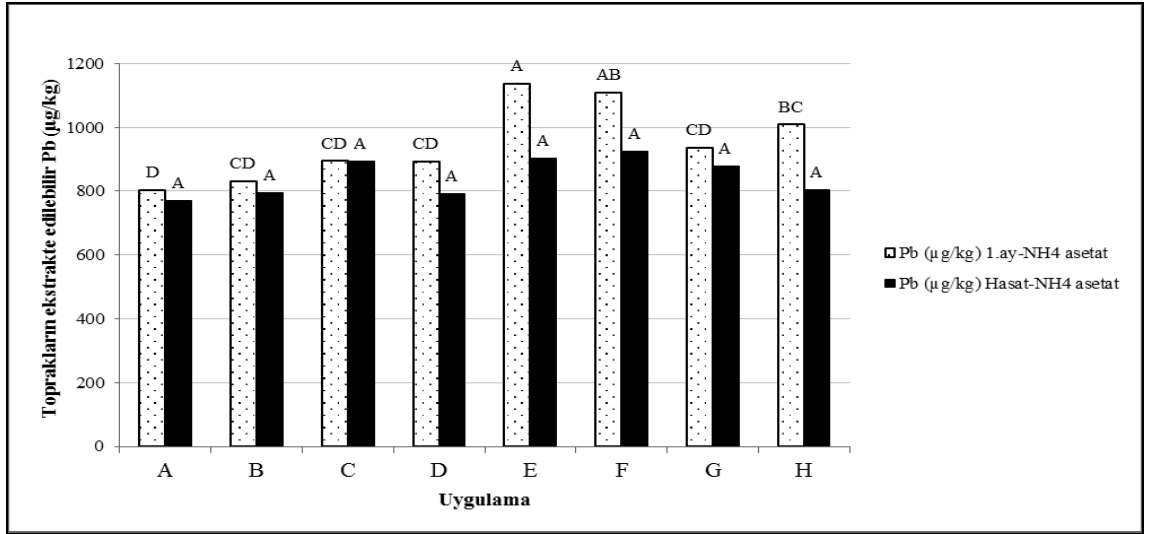
LSD: Least Significant Difference.

ÖD: Önemli Değil.

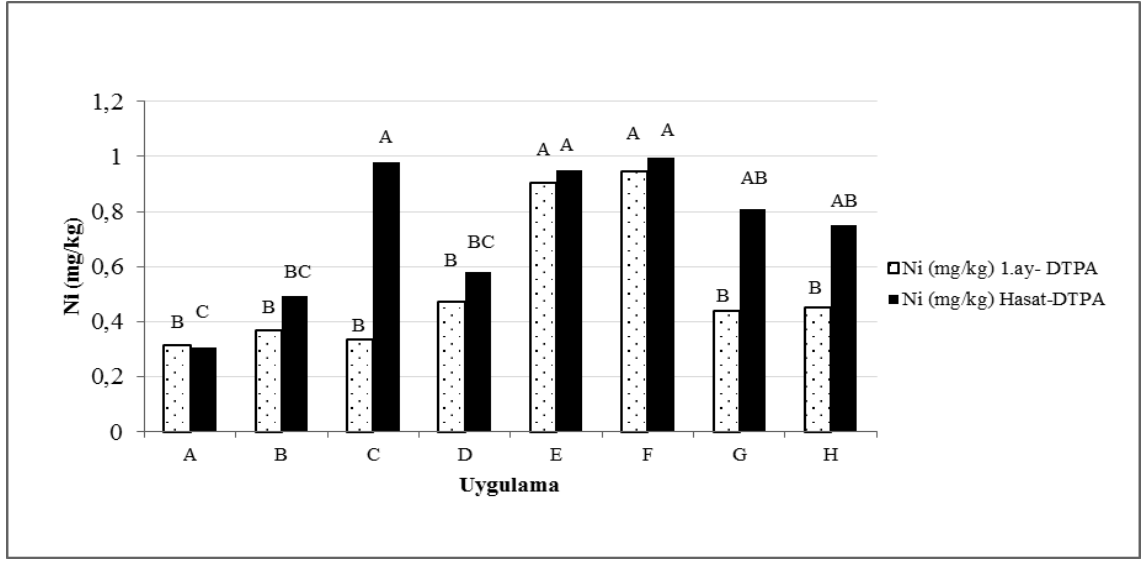
A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol	0 kg/da çamur
B: DAP (2,5 kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *	0 kg/da çamur
C: 4 kg/da azota denk çamur	490 kg/da çamur
D: 8 kg/da azota denk çamur	980 kg/da çamur
E: 16 kg/da azota denk çamur	1960 kg/da çamur
F: 32 kg/da azota denk çamur	3920 kg/da çamur
G: 4 kg/da azota denk çamur + 4 kg kimyasal N*	490 kg/da çamur
H: 6 kg/da azota denk çamur + 2 kg kimyasal N*	735 kg/da çamur
*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH ₄ NO ₃)	



Şekil 4.53 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların ekstrakte edilebilir Cd kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)



Şekil 4.54 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların ekstrakte edilebilir Pb kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)



Şekil 4.55 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların ekstrakte edilebilir Ni kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)

Toprakların Alınabilir Ni kapsamları her iki dönemde de en düşük kontrol uygulamasında, en yüksek ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamalarında belirlenmiştir. Tarla denemesinin her iki örneklemme döneminde de artan çamur dozuna bağlı olarak meydana gelen Ni artışı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Hasat topraklarının başlangıç topraklarına göre tüm uygulamalarda ekstrakte edilebilir Ni kapsamlarında artışlar meydana gelmiş ancak söz konusu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.22).

Toprakların Alınabilir Cr kapsamları en düşük kontrol ve en yüksek 32 kg/da azota denk çamur uygulanmış parselde belirlenmiştir. Tarla denemesinin 1. ay toprak örneklemesinde belirlenen ekstrakte edilebilir Cr kapsamlarında doza bağlı belirlenen artış istatistiksel olarak önemli bulunmamış, hasat topraklarında belirlenen çamur dozuna bağlı artış ise $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Hasat topraklarının başlangıç topraklarına göre tüm uygulamalarda ekstrakte edilebilir Cr kapsamlarında artışlar meydana gelmiş ancak söz konusu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Keskin vd. (2010), yaptıkları çalışmada, 50, 100 ve 150 kg/ha azot gübresi, 7, 14 ve 21 Mg/ha çamur uyguladıkları çim bitkisi (*Bromus Inermis*) tarla denemesinde, 3 yıl boyunca toprak örneklerinde analiz yapmış ve son yıl farklı

derinliklerde aldıkları topraklarda çamur uygulamasının sadece 0-20 cm derinlikten alınan topraklarda belirlendiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar çamur uygulamalarının toprağın Alınabilir Fe, Cu, Zn, Mn, Cd ve Pb kapsamlarını artırdığını aynı zamanda bitki kuru madde ağırlığını da artırdığını belirlemişlerdir.

Toprakta Alınabilir Zn değerleri 1.ay ve hasat analiz sonuçlarına göre en düşük kontrol parselinde ve en yüksek ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamasında belirlenmiştir. Her iki dönemde de bütün uygulama konularında belirlenen Alınabilir Zn değerleri kontrol parselinden daha yüksek belirlenmiş ancak belirlenen artış istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Ayrıca, hasat topraklarının başlangıç topraklarına göre tüm uygulamalarda ekstrakte edilebilir Zn kapsamlarında artışlar meydana gelmiş ancak söz konusu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.23). Antoniadis ve Alloway (2001) toprağa uygulanan 8 t ha⁻¹ çamur dozundan az çamur uygulamalarında toprakta Zn miktarlarının artış göstermesinin Cd ve Zn gibi hareketli metallerin toprakta alınabilirliklerini artıracak ve bunun da risk oluşturabileceğini belirtmişlerdir. Yapılan çeşitli çalışmalarda; Türkiye’de çinko noksanlığının yaygın olduğu belirlenmiştir. Orta Anadolu bölgesinden alınan toprak ve bitki örnekleri Zn yönünden incelenmiş; toprak örneklerinin yaklaşık olarak % 90’ının, bitki (buğday) örneklerinin ise % 80’inin çinko konsantrasyonu yönünden kritik (toprak için 0,5 mg kg⁻¹; yaprak için 10-15 mg kg⁻¹) değerlerden daha düşük olduğu anlaşılmıştır (Çakmak vd. 1996).

Toprakların Alınabilir Cu kapsamları her iki dönemde de en düşük kontrol uygulamasında, en yüksek ise 32 kg/da azota denk çamur uygulamalarında belirlenmiştir (Çizelge 4.21). Tarla denemesinin her iki örnekleme döneminde de artan çamur dozuna bağlı olarak meydana gelen Cu artışı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (P<0,05). Hasat topraklarının başlangıç topraklarına göre tüm uygulamalarda Alınabilir Cu kapsamlarında artışlar meydana gelmiş ancak söz konusu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Alınabilir Cu konsantrasyonu kritik değeri 0,20 mg kg⁻¹ (Adriano 1986) olup, deneme topraklarının alınabilir Cu kapsamları bu değerin üzerindedir. Shaheen vd. (2012), arıtma çamurunun toprakta Alınabilir Cu ve Zn üzerine etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları inkübasyon denemesinde kontrole göre toprakların Alınabilir Cu ve Zn kapsamlarının önemli derecede arttığını

belirtmişlerdir. Angın ve Yağanoğlu (2009), arıtma çamurunun tarımsal kullanımda kısa dönemde toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesine katkısı olduğunu bildirmektedirler. Arıtma çamurlarının 0, 40, 80, 120 t ha⁻¹ uygulama düzeyleri ile yapılan araştırmalarda; artan arıtma çamuru dozlarına bağlı olarak toprakların Alınabilir Fe, Cu, Zn ve Mn içeriklerinin arttığı, bu artışın istatistiksel açıdan önemli (P<0,05) olduğu bildirilmektedirler.

Ailincai vd. (2009), arıtma çamurlarının toprağın fizikokimyasal özellikleri ile verim üzerine etkisinin araştırıldığı çalışma 2004-2008 yıllarında yürütülmüştür. Çamur yıllık olarak 20, 40 ve 60 t/ha dozlarında uygulanmıştır. Toprağa 20 t/ha çamur uygulamasının alınabilir P (58 ppm), Cu (19 ppm), B (0.51 ppm), Zn (149 ppm), ve Mn (397 ppm) miktarlarının artış gösterdiği belirlenmiştir. Toprağa 30 t/ha (18,5 lt/ha kuru madde) çamur uygulaması sonucu toprakta belirlenen metal konsantrasyonları Norm 86/278/EEC sınır değerlerini geçmemiştir. Toprağa 60 t/ha çamur uygulamasında ise (37 t/ha kuru madde), Norm 86/278/EEC ve Order no. 49 - 14 Ocak 2004 için belirlenen sınır değerleri sadece Zn aşmıştır. Toprağa 40 t/ha çamur uygulaması toprağın humus kapsamında dört yılın sonunda %2.82 – 3,79 artışa neden olmuştur.

Toprakta yarayışlı Zn 0,2- 0,7 mg/kg ise az, 0,7- 2,4 mg/kg ise yeterli, 2,4-8 mg/kg ise fazla ve 8 mg/kg'dan fazla ise çok fazla olarak değerlendirilmektedir. Buna göre, kontrol topraklarında Zn yetersiz, çamur uygulamalarının dozu arttıkça Zn miktarı da artmış ve özellikle F uygulamasında (en yüksek çamur dozu) Zn değeri çok fazla sınıfına girmiştir. Zn noksanlığı buğday bitkisinde gelişme ve verimin düşmesine neden olmaktadır. Zn'nin noksanlığı kadar fazlalığı da bitkiler için sorun yaratmaktadır. Bitkilerin Zn zehirlenmesi kök büyümesi ve yaprak genişlemesinin azalmasıyla sonuçlanır ve bu belirtileri kloroz izler (Aktaş 1995).

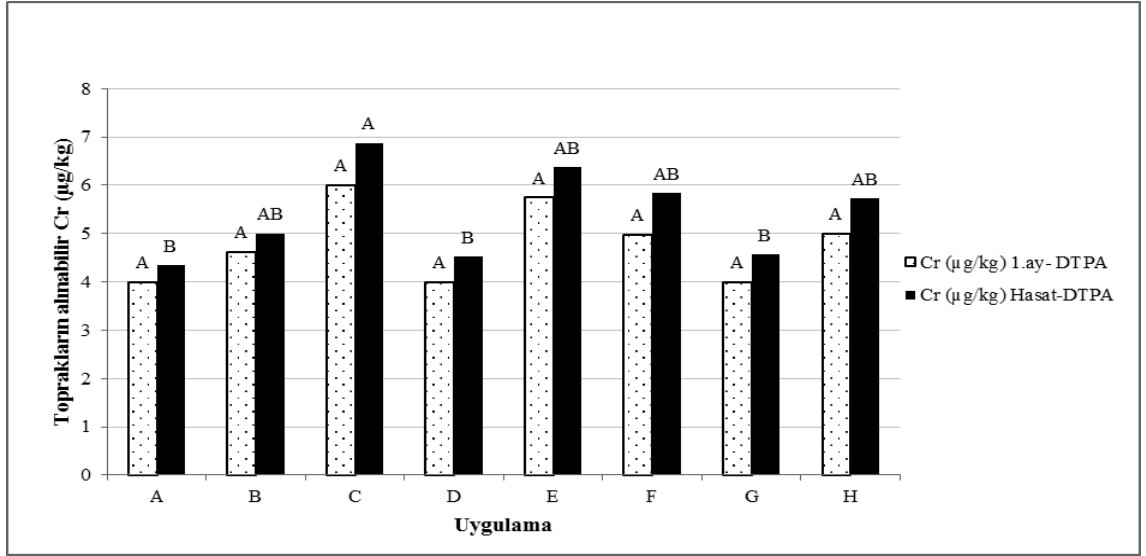
Çizelge 4.23 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Cr, Zn ve Cu kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)

Uygulama	Cr mg/g 1.ay	Cr mg/g Hasat	Zn mg/kg 1. ay	Zn mg/kg Hasat	Cu mg/kg 1. ay	Cu mg/kg Hasat
A	4,00ÖD	4,34B	0,085ÖD	0,079ÖD	0,36B	0,35B
B	4,62 ÖD	5,00AB	0,185ÖD	0,47ÖD	0,43B	0,44AB
C	6,00 ÖD	6,88A	0,907ÖD	7,056ÖD	0,42B	1,24A
D	4,00 ÖD	4,52B	1,337ÖD	1,315ÖD	0,46B	0,52AB
E	5,75ÖD	6,37AB	8,988ÖD	0,809ÖD	1,62A	0,51AB
F	4,98 ÖD	5,84AB	10,67ÖD	1,320ÖD	1,76A	0,57AB
G	4,00 ÖD	4,57B	0,446ÖD	5,056ÖD	0,40B	1,01B
H	5,00 ÖD	5,73AB	1,296ÖD	4,308ÖD	0,56B	0,89AB
LSD<0.05	1,929		23,030		0,757	

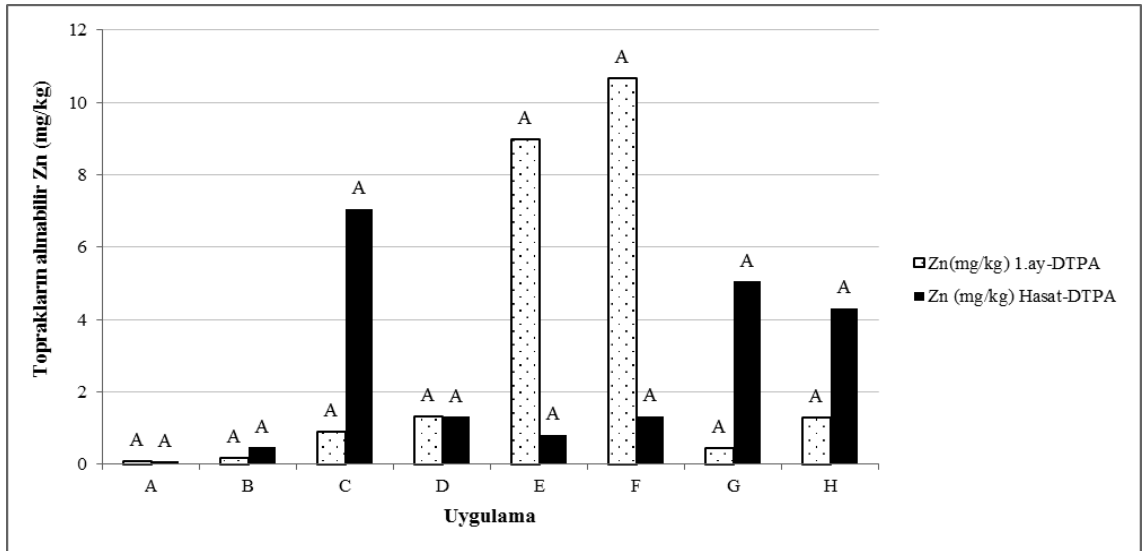
Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$); LSD: Least Significant Difference. ÖD: Önemli Değil.

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol	0 kg/da çamur
B: DAP (2,5 kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *	0 kg/da çamur
C: 4 kg/da azota denk çamur	490 kg/da çamur
D: 8 kg/da azota denk çamur	980 kg/da çamur
E: 16 kg/da azota denk çamur	1960 kg/da çamur
F: 32 kg/da azota denk çamur	3920 kg/da çamur
G: 4 kg/da azota denk çamur + 4 kg kimyasal N*	490 kg/da çamur
H: 6 kg/da azota denk çamur + 2 kg kimyasal N*	735 kg/da çamur

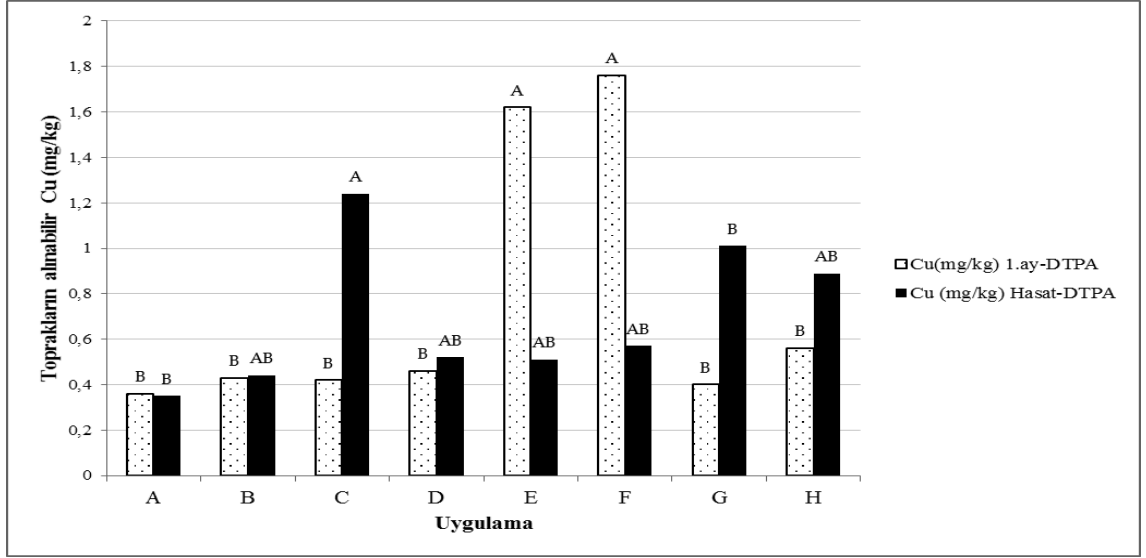
*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)



Şekil 4.56 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Cr kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)



Şekil 4.57 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Zn kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)



Şekil 4.58 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların alınabilir Cu kapsamı üzerine etkisi (mg/kg)

4.3.8 Tarla denemesi toprak örneklerinin beta glukozidaz enzim aktivitesindeki değişimler

Tarla denemesinin 2011-2012 ürün dönemlerinde atık çamur ve DAP içerikli olan 8 uygulama faktörüne ilişkin toprakta belirlenen beta glukozidaz enzim aktivitesi değerlerine ilişkin veriler çizelge 4.24’de verilmiştir.

Tarla denemesinin başlangıç örneklerinde toprakların beta glukozidaz enzim aktivitesi tek başına çamur uygulanan D, E ve F uygulamalarında hasat döneminde artmış, kontrol ve kimyasal gübrenin tek başına ve çamurla birlikte uygulandığı A, B, C, G ve H uygulamalarında ise enzim aktivitesi hasat topraklarında azalmıştır. Yaz mevsiminin mikrobiyal aktivite üzerindeki olumsuz etkisi çamur ile olumluya dönüştürülmüş olabilir. B-glukozidaz aktivitesinin çamur uygulanmış topraklarda zamana bağlı değişiminde topraktaki organik madde miktarının etkisi olduğu düşünülmektedir. Uygulamayı izleyen 9 ay içerisinde bu enzim aktivitesinde devamlılık gösteren bir artış gözlenmiş, B-glukozidaz aktivitesindeki bu artış, muhtemelen arıtma çamurunun mineralizasyonuna bağlı olarak β -glukozidaz için substrat miktarının artmasından kaynaklanmıştır. Benzer bulgular Akdeniz koşullarında 3 yıl boyunca her yıl 15 t ha⁻¹ arıtma çamur uygulaması yapan Antolin vd. (2005) tarafından da elde edilmiştir. Ancak

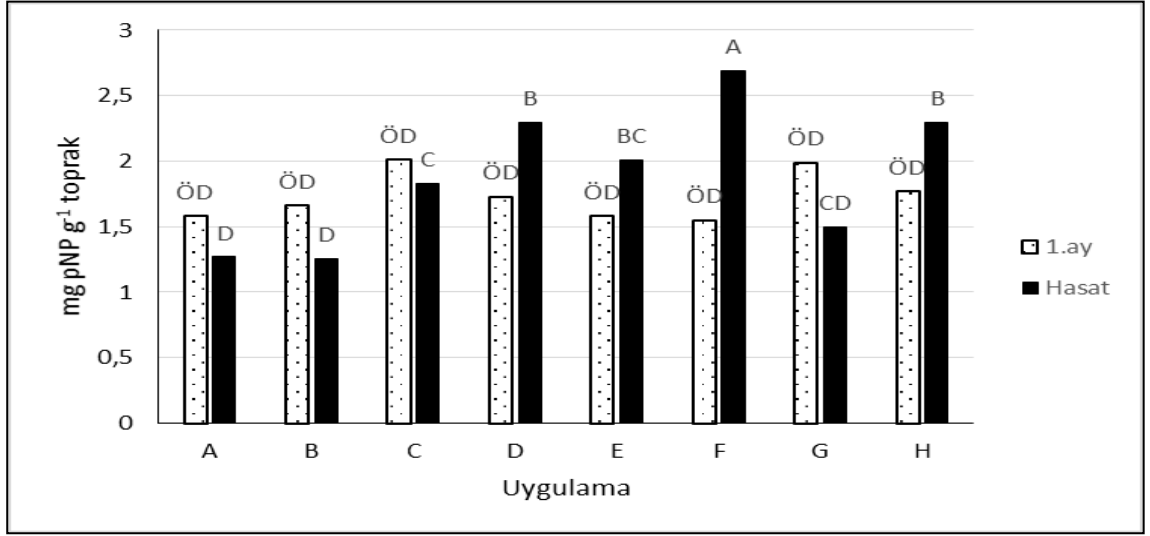
araştırma topraklarında ölçölen solunum ve mikrobiyal biyokötle karbonu gibi diğerk mikrobiyal parametrelerde çamurun benzer etkisi belirlenmemiştir.

Tarla denemesinin başlangıç örneklerinde kontrol dahil tüm uygulamalarda toprağın beta glukozidaz enzim aktivite miktarları arasında önemli bir fark belirlenmemiştir. Hasat dönemi topraklarında ise toprakta beta glukozidaz enzim aktivitesi yapılan varyans analizi sonucunda uygulama interaksyonu istatistiksel olarak ($P<0,05$) önemli bulunmuştur.

Hasat döneminde en düşük beta glukozidaz enzim aktivitesi kontrol ve DAP gübresi uygulamasında belirlenmiş, en yüksek aktivite ise yaklaşık 4 ton/da çamur uygulanan F konusunda belirlenmiştir. Arıtma çamurunun tek başına tüm dozları ile çamurun kimyasal gübrelerle karıştırılıp uygulanması toprakların beta glukozidaz enzim aktivitesi miktarlarını özellikle hasat döneminde kontrol ve tek başına kimyasal gübre uygulamasına göre $P<0.05$ düzeyinde önemli şekilde artırmıştır.

Çizelge 4.24 Tarla denemesi uygulamalarının toprakların biyokimyasal aktiviteleri üzerine etkisi

Uygulama konuları	Beta Glukozidaz 1.ay mg pNP g ⁻¹ toprak	Beta Glukozidaz Hasat mg pNP g ⁻¹ toprak	Karbondioksit Çıkışı 1.ay µg CO ₂ g ⁻¹ gün	Karbondioksit Çıkışı Hasat µg CO ₂ g ⁻¹ gün	Biyokütle Karbonu 1.ay µg CO ₂ g ⁻¹ gün	Biyokütle Karbonu Hasat µg CO ₂ g ⁻¹ gün	qCO ₂ 1.ay	qCO ₂ Hasat
A	1,58 ÖD	1,27 D	324,50 E	211,25 F	325,55H	104,44E	2,02A	1,00A
B	1,66 ÖD	1,26 D	308,93 E	194,75 G	356,75G	110,73E	1,76AB	0,87A
C	2,01ÖD	1,83 C	377,51CD	236,50 E	372,82F	175,54D	1,35B	1,01A
D	1,73 ÖD	2,30 B	468,43B	289,50 B	466,17C	266,94A	1,08C	1,00A
E	1,58 ÖD	2,01 BC	532,76 A	325,00 A	499,77B	220,12C	1,48B	1,07A
F	1,55 ÖD	2,69 A	466,26 B	282,25 BC	782,54A	170,59D	1,65B	0,60B
G	1,99 ÖD	1,50 CD	341,24 DE	254,50 D	428,94D	237,80B	1,07C	0,80A
H	1,77ÖD	2,30 B	394,90 C	268,25 CD	449,27E	219,98C	1,22C	0,88A
LSD_{0.05}	0,485	0,330	38,52	14,911	13,221	13,784	0,312	



Şekil 4.59 Tarla denemesi uygulamalarının beta glukozidaz enzim aktivitesi üzerine etkileri

4.3.9 Tarla denemesi toprak örneklerinin CO₂ çıkışı miktarlarındaki değişimler

Tarla denemesinin 2011-2012 ürün dönemlerinde atık çamur ve DAP içerikli olan 8 uygulama faktörüne ilişkin toprakta belirlenen CO₂ çıkışı değerlerine ilişkin veriler çizelge 4.24’de verilmiştir.

Tarla denemesinin başlangıç örneklerinde toprakların CO₂ çıkışı değerleri hasat dönemine göre yüksek olup bunda mevsimsel farkın etkisi bulunmaktadır. Toprak nemi, sıcaklığı, rizosfer ürünleri (kök salgıları, ölü hücreler vb.), bitki köklerinden gelen C girdisi ve ürün artıkları, topraktaki mikrobiyal biyomas miktarı üzerinde önemli etkilere sahiptir (Ross 1987).

Toprakta CO₂ çıkışı 1. ayda en düşük 15 kg DAP/da (2,5 kg azot) + 5,5 kg N üst gübreleme (308,93 µg CO₂ g⁻¹ gün) ve buna takiben kontrol (324,50 µg CO₂ g⁻¹ gün) uygulamalarında, en yüksek 16kg/da azota denk çamur (532,76 µg CO₂ g⁻¹ gün) ve buna takiben 8kg /da azota denk çamur ve 4 kg/da azota denk çamur + 4 kg N üst gübreleme uygulamasında sırasıyla 468,43 ve 466,26 µg CO₂ g⁻¹ gün olarak saptanmıştır.Toprakta CO₂ çıkışı yapılan varyans analizi sonucunda uygulama interaksyonu istatistiksel olarak (P<0,05) önemli bulunmuştur.

Hasat döneminde ise en düşük kontrol toprağında ve bunu takiben 4kg/da azota denk çamur uygulamasında sırasıyla 211,25 ve 236,50 $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ gün olarak belirlenmiştir. En yüksek CO_2 çıkışı 16 kg /da azota denk çamur (325,00 $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$ gün) olan E konusunda saptanmıştır. Toprakta CO_2 çıkışı, yapılan varyans analizi sonucunda uygulama interaksyonu istatistiksel olarak ($P<0,05$) önemli bulunmuştur.

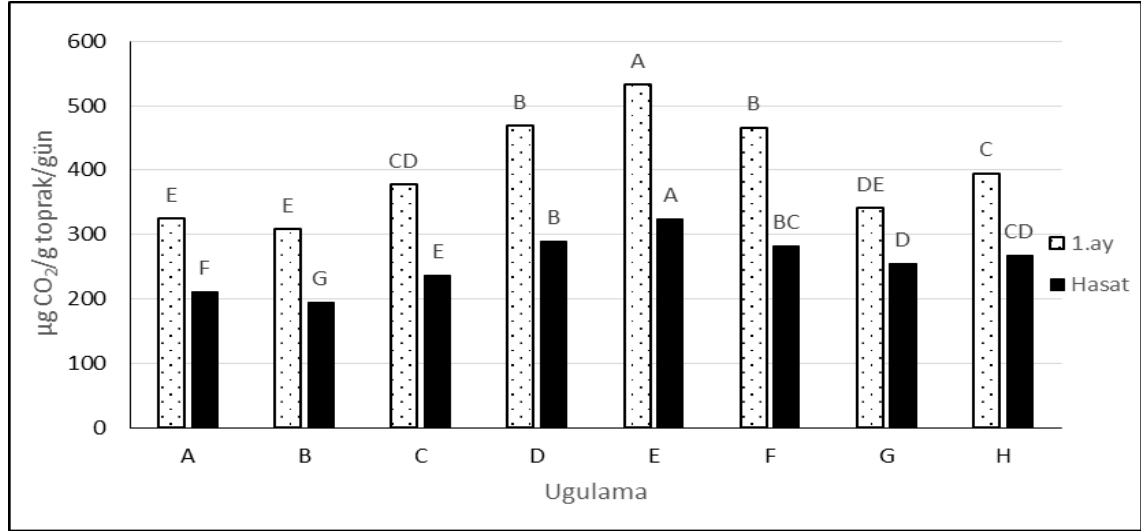
Arıtma çamurunun tek başına tüm dozları ile çamurun kimyasal gübrelerle karıştırılıp uygulanması toprakların CO_2 çıkışı miktarlarını her iki örnekleme döneminde de kontrol ve tek başına kimyasal gübre uygulamasına göre $P<0.05$ düzeyinde önemli şekilde artırmıştır.

Yüksek CO_2 in ekosistemdeki C tutulması üzerine uzun süreli etkisi ağırlıklı olarak mineral topraklardaki C tutulmasına etki eden faktörlere ve karbonun diğer besin elementleriyle etkileşimine bağlıdır (Cardon 1996). Topraktaki mikrobiyolojik parametreler mikrobiyal popülasyonlar ve aktivitelerinin farklı ekosistemlerde besin element döngüsündeki önemini belirlemek için indeks şeklinde kombine edilmektedirler (Nannipieri 1994). Brookes (1995) içsel kontrolü sağlamak amacıyla mikrobiyal biyokütle karbonunu toprak organik maddesinin yüzdesiyle orantılayarak kombine etmeyi önermiştir. Dilly ve Munch (1998) ve Brookes (1995), mikrobiyal aktivite ve popülasyon ölçümlerinin kombine edilmesi (toprak solunumu veya metabolik quotient - $q\text{CO}_2$) toprak kirliliğini ortaya koymada aktivite ve popülasyonlarını ayrı ayrı değerlendirmekten daha hassas sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

CO_2 'nin yüksek olduğu çevrelerde kök salgısı üretimindeki artış mikroorganizmalar tarafından daha fazla yarayışlı karbon olduğunu göstermektedir (Cardon 1996, Cheng 1999, Schortmeyer vd. 2000). Yüksek CO_2 aynı zamanda toprakta değişken karbon fraksiyonlarının (suda çözünebilir C, K_2SO_4 -ekstrakte edilebilir C vb) artışını etkilemektedir.

Topraktan ani CO_2 çıkışındaki artış genellikle kolaylıkla alınabilir organik substratların veya inorganik azotlu gübrelerin toprağa ilavesiyle görülmektedir. Bu olgu mikroorganizmalar tarafından substrat ve enerji kaynağı olarak kullanılan toprak

organik madde mineralizasyonunun hızlanması sonucunda artan mikrobiyal aktiviteden kaynaklanmaktadır (Kuzyakov vd. 2000).



Şekil 4.60 Tarla denemesi uygulamalarının CO₂ çıkışı miktarı üzerine etkileri

4.3.10 Tarla denemesi toprak örneklerinin mikrobiyal biyokütle miktarlarındaki değişimler

Tarla denemesinin 2011-2012 ürün dönemlerinde atık çamur ve DAP içerikli olan 8 uygulama faktörüne ilişkin toprakta belirlenen mikrobiyal biyokütle karbonu (MBC) değerlerine ilişkin ilişkin veriler çizelge 4.24’de verilmiştir.

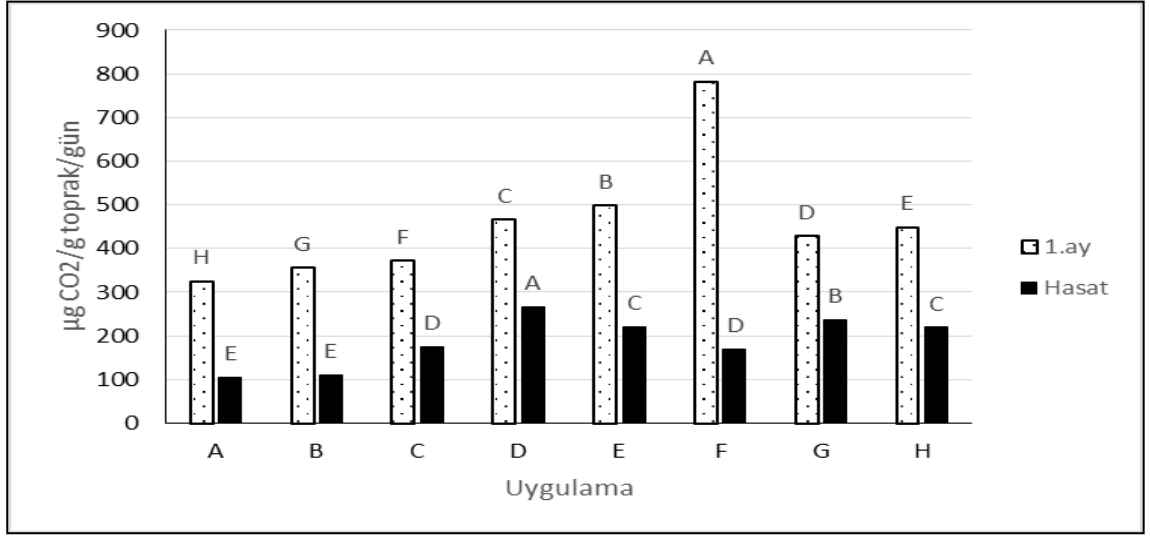
Tarla denemesinin başlangıç örneklerinde toprakların MBC değerleri hasat dönemine göre yüksek olup bunda mevsimsel farkın etkisi bulunmaktadır. Toprak nemi, sıcaklığı, rizosfer ürünleri (kök salgıları, ölü hücreler vb.), bitki köklerinden gelen C girdisi ve ürün artıkları, topraktaki mikrobiyal biyomas miktarı üzerinde önemli etkilere sahiptir (Ross 1987). Başlangıç toprak örneklerinin alındığı Ekim 2011 ayında çalışma alanına düşen yağış 71 mm iken, hasadın yapıldığı Temmuz 2012 döneminde ise hiç yağış yağmamış olması, toprak neminin Ekim ayında mikrobiyal faaliyetler için daha ideal koşullarda olmasından kaynaklanmıştır. Araştırma sonucumuzun aksi yönde belirlenmiş çalışmalar da mevcut olup, Srivastava (1992) ve Göçmez (2006), en yüksek mikrobiyal

C, N ve P değerinin yazın (kurak dönemde), en düşük değerin ise yağmur mevsiminde (ıslak dönemde) belirlemişlerdir. Göçmez (2006) bunun nedeninin Ağustos ayında buğday hasadından sonra kalan anızın toprağa karıştırılmasının mikrobiyal biyokütle miktarının artmasında etkili olabileceğini belirtmiştir.

Uygulamaları kendi arasında kıyaslayacak olursak, denemenin başlangıç örneklerinde en yüksek MBC yaklaşık 4ton/da çamur uygulaması yapılan F konusunda belirlenmiştir. Bunu 2 ve 1 ton/da çamur uygulamaları takip etmiş, en düşük MBC değerleri ise DAP uygulamasında belirlenmiştir. Uygulamalar arasında belirlenen fark $P<0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Tarla denemesinin hasatından sonra alınan toprak örneklerinde en yüksek MBC yaklaşık 1 ton/da çamur uygulandığı D konusunda belirlenmiş, bunu 4 kg/da azota denk çamur + 4 kg kimyasal N uygulaması yapılan G konusu takip etmiştir. En düşük MBC ise kontrol ve DAP uygulanmış topraklarda belirlenmiştir.

Arıtma amurunun tek başına tüm dozları ile çamurun kimyasal gübrelerle karıştırılıp uygulanması toprakların MBC miktarlarını her iki örnekleme döneminde de kontrol ve tek başına kimyasal gübre uygulamasına göre $P<0.05$ düzeyinde önemli şekilde artırmıştır. Arıtma çamurundaki yüksek yarıyışlı C ve besin maddesi içeriğinin toprak mikroorganizmalarının aktivitesini muhtemelen uyarmasından dolayı, deneme topraklarında mikrobiyal biyomas-C’u miktarı artmıştır. Böyle bir sonucun ortaya çıkmasında; kullanılan arıtma çamurunun en yüksek uygulama dozunda bile toprakların ilgili mevzuat tarafından izin verilen değerlerin altında ağır metal konsantrasyonlarına sahip olması da etkili olmuştur.



Şekil 4.61 Tarla denemesi uygulamalarının mikrobiyal karbon biyokütlesi miktarı üzerine etkileri

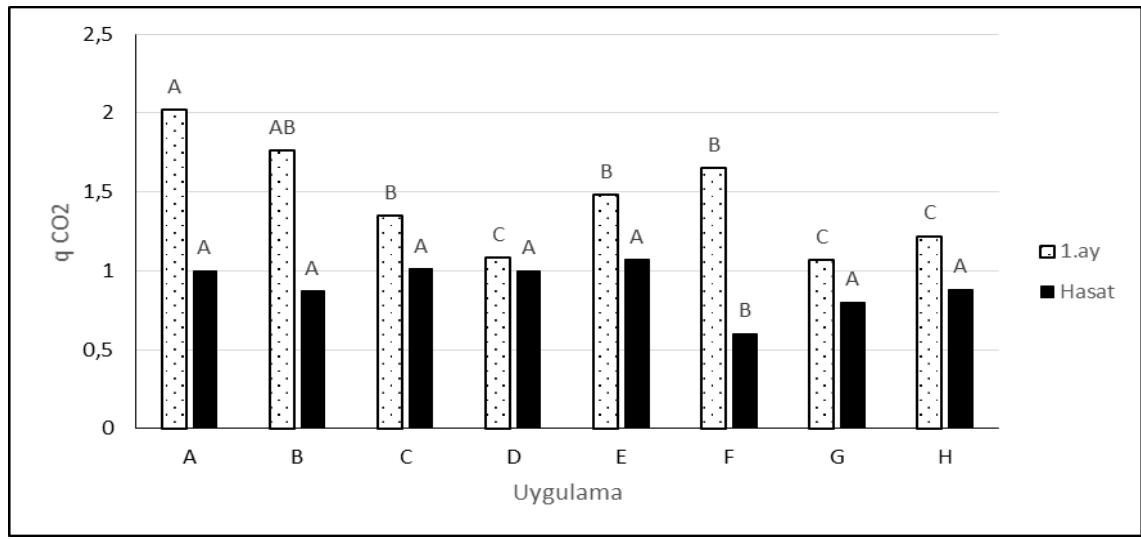
4.3.11 Tarla denemesi toprak örneklerinin mikrobiyal metabolik bölüm- qCO_2 oranındaki değişimler

Tarla denemesinin 2011-2012 ürün dönemlerinde atık çamur ve DAP içerikli olan 8 uygulama faktörüne ilişkin toprakta belirlenen qCO_2 oranı değerlerine ilişkin veriler çizelge 4.24’de verilmiştir.

Tarla denemesinde kontrol toprağının metabolik qCO_2 oranı başlangıç topraklarında kontrol uygulamasında 2.2 olup, bu değer arıtma çamuru uygulamalarında yüksek doza bağlı olarak azalmıştır. En düşük qCO_2 değeri C ve G uygulamalarında belirlenmiştir. Hasat topraklarında ise qCO_2 değeri bütün parsellerde başlangıca göre azalmış ve değerler birbirine yaklaşmış olup, en düşük qCO_2 oranı ise en yüksek çamur uygulanmış parsellerde belirlenmiştir.

qCO_2 değerinin 2’den büyük olması enerji olarak daha az mikrobiyal kominite varlığının göstergesidir. Yüksek qCO_2 oranı organik substratların mikrobiyal biyokütle tarafından daha az verimli olduğunun göstergesidir (Anderson 2003, Pinzari vd. 1999). Buna göre kontrol parsellerinde qCO_2 oranı 2’ye ulaşmış olup kontrol parsellerinde biyolojik verimliliğinin düşük olduğu, bunun yanısıra arıtma çamuru uygulama

dozlarının artmasıyla beraber biyolojik verimliliğin arttığı görülmektedir. Bu konuda yapılan diğer araştırma sonuçları bizim sonuçlara benzer veya tersi bulgular içermekte ve genellikle arıtma çamuru ilavesinin ağır metal miktarı artışına paralel olarak toprakların qCO_2 oranını artırdığı ve toprakların mikrobiyal aktivitelerini strese soktuğu yönündedir. Chander ve Brookes (1991b), arıtma çamurundaki ağır metal miktarı arttıkça qCO_2 oranının da yükseldiğini, buna karşın Baath vd. (1991), ağır metal konsantrasyonu arttıkça qCO_2 oranının düştüğünü belirlemişlerdir.



Şekil 4.62 Tarla denemesi uygulamalarının qCO_2 oranı üzerine etkile

4.3.12 Tarla denemesi bitki örnekleri analiz sonuçları

2010-2011 yılı tarla denemesi ürün döneminde 8 uygulama faktörüne ilişkin bitki örneklerinde belirlenen bitki boyu, verim, bitki ve tane N ve P içerikleri Çizelge 4.25’de verilmiştir.

4.3.12.1 Bitki boyu

Arıtma çamuru uygulanmış parsellerde yetişen buğday bitkilerinin boyu, kontrol parseline göre fazla bulunmuş, en yüksek bitki boyu ise 4 kg/da azota denk çamur

verilen C uygulamasında belirlenmiştir. Uygulamalar arasında belirlenen fark $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Bitki boyu, hasat indeksi ve yatmaya etkisi yönünden önemli morfolojik özelliklerden biridir (Kirtok vd. 1987, Kün 1996). Araştırma sonucunda bitki boyuna ilişkin elde edilen veriler, Anonim (2009)'in 7 ekmeklik buğday çeşidini kullanarak yaptığı çalışmadaki bitki boyu ortalamalarının (91-112 cm) oldukça altındadır. Bitki boyu çeşidin genetik yapısı, ekim sıklığı, ekim zamanı, yağış durumu, gübreleme ve toprak şartlarına göre değişmektedir (Yürür vd. 1981, Gençtan ve Sağlam 1987, Kün 1988). Tarla denemesinin yürütüldüğü 2011-2012 yılı yağış rejimindeki düzensizliklerden kaynaklanabilecek bir durum söz konusu olabileceği düşünülmektedir.

4.3.12.2 Dekara tane verimi

Tarla denemesi hasat sonucunda en düşük verim kontrol parselinde 289 kg/da olarak belirlenirken, en yüksek verim 404 kg/da olarak 4 kg/da azota denk çamur uygulaması olan C uygulama konusunda belirlenmiştir. Kontrole göre çamur ve kimyasal gübre uygulamalarında verimde meydana gelen artış $P<0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Tarla denemesinin yürütüldüğü Polatlı TİGEM işletme arazisinde 2011-2012 ekim döneminde ortalama buğday veriminin 350 kg/da olduğu yetkililer tarafından belirtilmiş, bu sonuca göre de çamur uygulamaları bölge verim değerlerinin üzerinde verim alınmasına etki etmiştir. Tosun ve Yurtman (1973), 60 ekmeklik buğday çeşidi ile tarla şartlarında verim öğelerini incelemişler ve verim ile m^2 'de başak sayısı, m^2 'de bitki sayısı, bin tane ağırlığı, başakta tane sayısı arasında önemli korelasyonlar olduğunu belirtmişlerdir. Bu öğelerin birbirini etkilediğini ve bunlardan yalnızca birini artırmakla verimin artırılmayacağını belirtmişlerdir. Göksu vd. (2008) arıtma çamuru kullanılarak yapılan buğday üretiminin farklı ekim nöbeti uygulamalarında buğday verimine etkisini ve toksik element kapsamalarını inceledikleri çalışmada, Konya ilinde patates+buğday ekim nöbeti uygulayarak, ilk uygulama yılı için 3 ton da^{-1} çamur kullanılan denemelerde buğday verimi 301,1 kg da^{-1} , çamur kullanılmayan parselde 182,1 kg da^{-1} , sadece kimyasal gübre kullanılan parselde ise 145,6 kg da^{-1} arasında değişen miktarlarda buğday verimi elde etmişlerdir. Özyazıcı vd. (2008), Bafra Ovasında buğday + lahana + domates münavebesi için geçerli olmak üzere arıtma

çamuru tarla ziraatında kullanılacağı zaman, bitkilerin agronomik verilerine göre dekara 2 ton verilmesi önerilebilmektedir. Bu miktardan fazla arıtma çamuru verildiğinde ise verimde önemli düşüşler meydana gelmektedir. Kızılkaya (2010) sera ve tarla koşullarında arıtma çamuru kompostunun buğday bitkisinin tane ve sap verimi ile toksik metal kapsamına etkisini araştırdıkları çalışmada, farklı oranlardaki arıtma çamuru kompostu uygulamalarında 322,50 – 626,83 kg da⁻¹ arasında değişen miktarlarda buğday verimi elde etmiştir.

Çizelge 25 Tarla denemesi uygulamalarının bitki boyu, verim, bitki ve tane N ve P kapsamı üzerine etkisi

Uygulama	Bitki Boyu (cm)	Verim (kg/da)	Sap N (%)	Sap P (mg/kg)	Tane N (%)	Tane P (mg/kg)
A	73,42G	289H	0,62C	0,0760ÖD	1,152C	0,216B
B	76,63D	304E	0,91B	0,0872ÖD	2,15B	0,226AB
C	79,17A	404A	0,91B	0,0869ÖD	2,78A	0,249A
D	74,88F	317C	1,12A	0,0951ÖD	3,05A	0,225AB
E	77,42B	308D	1,12A	0,1029ÖD	3,19A	0,235AB
F	77,13C	305E	1,72A	0,0816ÖD	3,52 A	0,231AB
G	77,13C	321B	0,92 B	0,0946ÖD	2,69 A	0,227AB
H	75,67E	297C	1,05AB	0,09770ÖD	3,30A	0,229AB
LSD<0.05	0,261	0,461	0,683	0,0349	0,921	0,0288

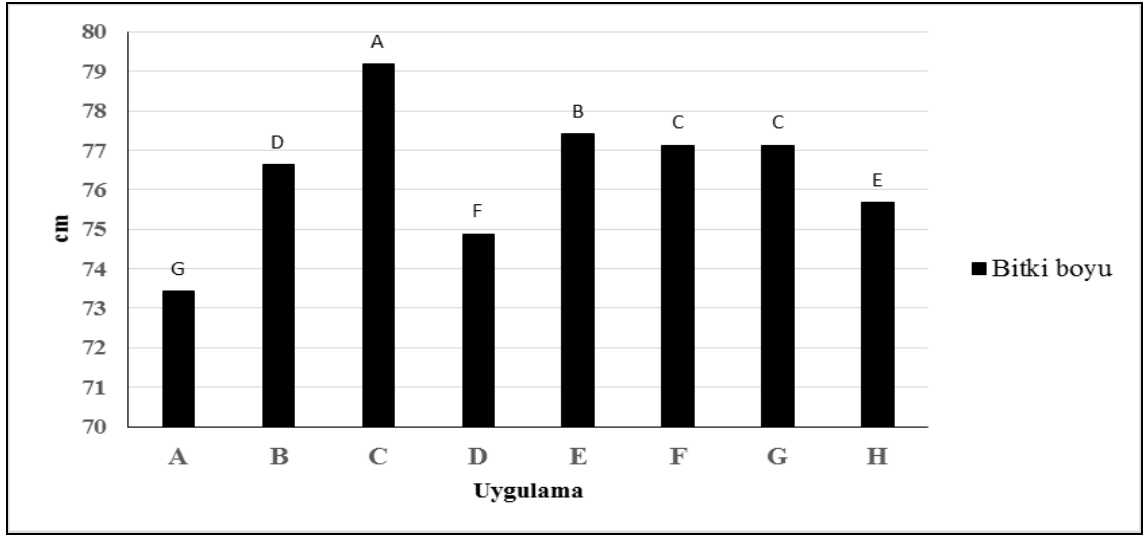
Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P < 0.05$);

LSD: Least Significant Difference.

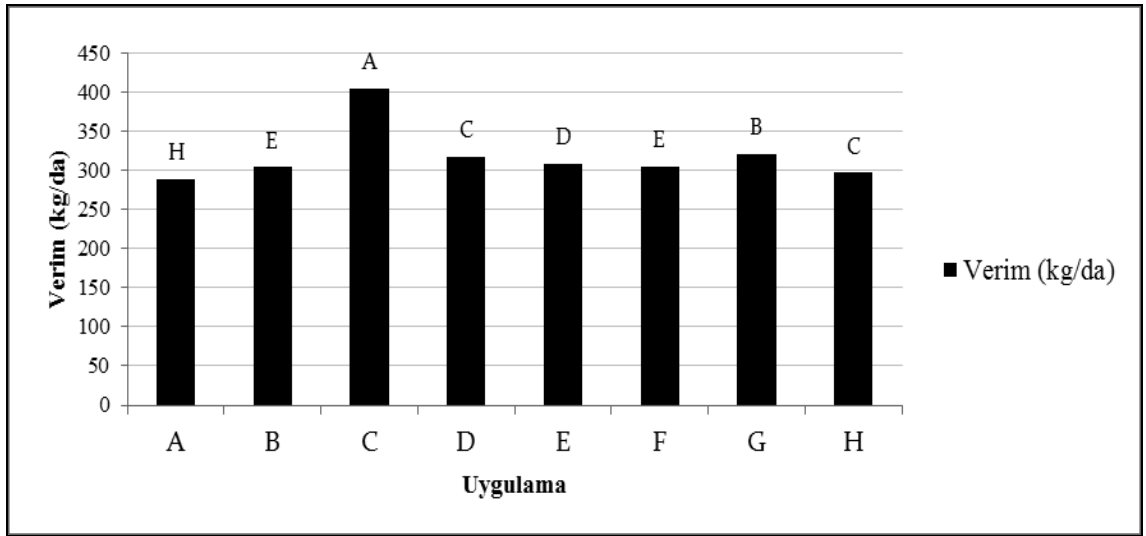
ÖD: Önemli Değil

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol
 B: DAP (2,5 kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *
 C: 4 kg/da azota denk çamur
 D: 8 kg/da azota denk çamur
 E: 16 kg/da azota denk çamur
 F: 32 kg/da azota denk çamur
 G: 4 kg/da azota denk çamur + 4 kg kimyasal N*
 H: 6 kg/da azota denk çamur + 2 kg kimyasal N*
 *Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)

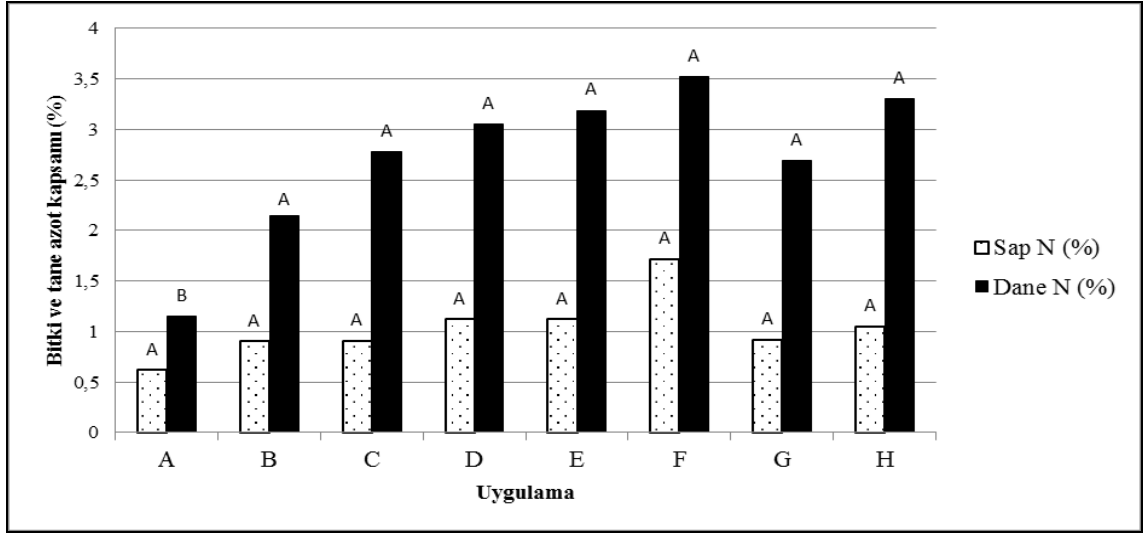
0 kg/da çamur
 0 kg/da çamur
 490 kg/da çamur
 980 kg/da çamur
 1960 kg/da çamur
 3920 kg/da çamur
 490 kg/da çamur
 735 kg/da çamur



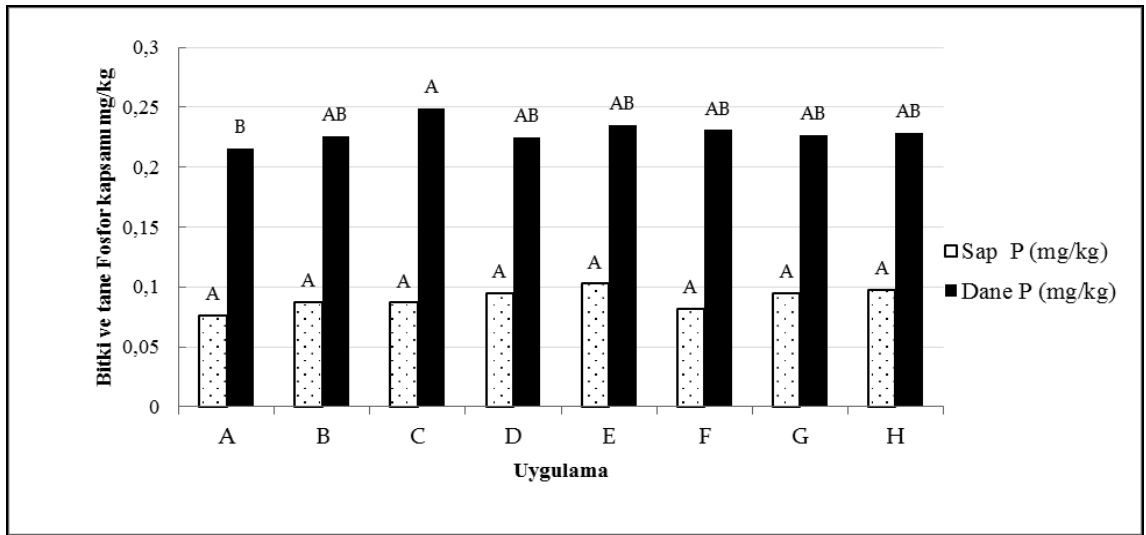
Şekil 4.63 Tarla denemesi uygulamalarının bitki boyu kapsamı üzerine etkisi



Şekil 4.64 Tarla denemesi uygulamalarının verim kapsamı üzerine etkisi



Şekil 4.65 Tarla denemesi uygulamalarının bitki ve tane N kapsamı üzerine etkisi



Şekil 4.66 Tarla denemesi uygulamalarının bitki ve tane P kapsamı üzerine etkisi

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetişen buğday sapı P kapsamı 0,076 mg/kg (kontrol) - 0,1029 mg/kg (16 kg/da azota denk çamur- E uygulaması) değerleri arasında belirlenmiştir. Buğday tanesi P içerikleri de en düşük 0,216 mg/kg ile kontrol parselinde, en yüksek ise 0,249 mg/kg olarak C uygulamasında (8 kg/da azota denk çamur-C uygulaması) belirlenmiştir. Buğday tanesinde uygulamalar arasında belirlenen artış $P < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuş, buğday sapı P içeriklerinde belirlenen uygulamalar arasındaki değişim ise istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetişen buğday sapı N kapsamı % 0,62 (kontrol)-1,72 (8 kg/da azota denk çamur -F uygulaması) değerleri arasında belirlenmiştir. Buğday tanesi N içerikleri de en düşük %1,152 ile kontrol parselinde, en yüksek ise %3,52 olarak 32 kg/da azota denk çamur uygulanan F uygulamasında belirlenmiştir. Çamur dozuna bağlı sap ve tanenin N kapsamlarında kontrole göre görülen artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

Menelik vd. (1991), tarla denemesinde buğday bitkisinin azot ihtiyacını mineral gübre ve arıtma çamuru vererek karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, buğday veriminin ve tanede N, P, Zn ve Cu konsantrasyonlarının arıtma çamuru uygulamalarında daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Bozkurt vd. (2000), kentsel arıtma çamurunun kışlık arpada azot kaynağı olarak kullanılmasına yönelik yaptıkları çalışmada; inorganik azotlu gübre ile arıtma çamurunu karşılaştırmışlar ve bütün uygulamalarda kontrole göre bitkide azot içeriği ve alımının arttığını, bu artışın arıtma çamuru uygulamalarında daha fazla olduğunu, arıtma çamurları uygulanan bitkilerde tanede P, Fe, Mn ve Cu konsantrasyonlarının arttığını ancak toprakta sadece Zn ve Cu miktarlarında artma olduğunu ve toksik düzey altında kaldığını belirtmişlerdir.

4.3.12.3 Buğday sapı ve tanesi ağır metal içerikleri

2010-2011 yılı tarla denemesi ürün döneminde 8 uygulama faktörüne ilişkin buğday sapı ve tanesinde Cd, Pb ve Ni değerleri çizelge 4.25 ve buğday sap ve tanesinde Cr, Zn ve Cu değerleri de çizelge 4.26'de verilmiştir.

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetişen buğday sapı Cd kapsamı 1,52 (kontrol) – 15,37 $\mu\text{g/g}$ (8 kg/da azota denk çamur-D uygulaması) değerleri arasında belirlenmiş olup, buğday tanesine ait Cd değerleri ise 2,82 $\mu\text{g/g}$ (kontrol) – 79,30 $\mu\text{g/g}$ (32kg/da azota denk çamur-F uygulaması) arasında belirlenmiştir (Çizelge 4.23). Buğday tanesi Cd değerleri bitkiye göre fazla bulunmuş, buna göre de Cd taneye taşınmış gözükmektedir. Çamur uygulanmış parsellerde buğday bitkisinin gerek sapı gerekse tanesinde kontrole göre belirlenen artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Buğday bitkisi sapında Cd, Z, Cu, Pb, Ni vb. ağır metallere ait sınır değerler veya herhangi bir kodeks bulunmamıştır. Anonymous (1993), tahıllarda ve baklagillerde izin verilebilir maksimum Cd konsantrasyonunu 0,1 mg kg⁻¹ olarak belirlemiş, EC (2011) ve FAO'nun (Food and Agriculture Organization of United Nations) 2011 yılında yayınladığı bülten de ise buğdayda 0,2 mg/kg değerini Cd sınır değeri olarak belirlemişlerdir. Avrupa Birliği pH'sı 6'dan büyük topraklarda yetişen buğday tanesinde olması gereken maksimum Cd miktarının 0,235 mg/kg olarak sınırlandırmıştır. Türk Gıda Mevzuatı Kodeksi (1999)'e göre bu değerler daha yüksek olup buğday için tanede 0,3 mg kg⁻¹'dir. Buna göre deneme buğday bitkisinde belirlenen Cd değerleri çamur dozuna bağlı artış göstermiş olsa da yukarıda belirtilen değerlerin altında kalmaktadır. Alloway (1995), bitkilerin Cd düzeylerinin 0,1-1 mg kg⁻¹ arasında olduğunu ve bitkilerin Cd alımını etkileyen en önemli toprak faktörlerinden birinin toprak pH'sı olduğunu belirtmiştir. Adams vd. (2007) farklı ülkelerde yetişen buğday bitkisi tanesinde belirlenen Cd düzeylerini aşağıdaki şekilde olduğunu belirtmiştir; Amerika- <0,002 to 0,21 mg/ kg, Hollanda-0,024 – 0,41 mg/kg, İngiltere- 0,004-0,31 mg/kg, Kanada- <0,01 to 0,24 mg/kg. Moreno vd. (1996), 20 ve 80 t ha⁻¹ arıtma çamuru ilave ettikleri toprakta arpa bitkisinin tanesinde Cd değerlerini sırasıyla 0,032 ve 0,038 mg kg⁻¹ olarak belirlemiştir. Araştırmacılar kontrol toprağına göre çamur uygulanan topraklarda yetişen arpa bitkisi tanesinde önemli miktarda Cd biriktiğini, bunu sebebinin de öncelikle uygulanan çamurun içermiş olduğu Cd'den kaynaklandığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca özellikle diğer ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarda olmadığı durumlarda Fe ve Cd arasında sinerjistik etki olduğunu da belirtmişlerdir. Chang vd. (1982), çamur uygulamasının durdurulduğu alanlarda uygulamayı takip eden üç ve dördüncü yıllarda bile yetiştirilen buğday tanelerinde Cd konsantrasyonlarının kontrol parseline göre çok yüksek olmaya devam ettiğini belirtmişlerdir. Öborn vd. (1995), İsveç'te 43 lokasyon bölgesinden alınan yazlık buğday tanelerinde ortalama 0,056 mg kg⁻¹ Cd bulunduğunu saptamışlardır. Tahıllar içerisinde makarnalık buğdayların ekmeklik buğdaylara göre tanede daha fazla Cd biriktirdiğini belirten araştırmacılar bulunmaktadır. (Clarke vd. 1997, Köleli 1998, Hart vd. 2002). Haris ve Taylor (2001), makarnalık buğdayda ¹⁰⁹Cd izotopu ile yaptığı çalışmada bu elementin önce gövd.ede toplandığını ancak sonra taneye de taşınarak gövd.ede azaldığını belirlemiştir. Öborn vd. (1999), uzun süreli bir tarla denemesinde patates yumrusu ve yazlık buğdayın Cd alımlarında kireçlemenin etkisiyle ilgili

yaptıkları araştırmada, pH'nın artışına bağlı olarak her iki bitkide de Cd konsantrasyonunun azaldığını belirtmişlerdir. Jansson ve Oborn (2000), yaptıkları çalışmada 0-30 cm'lik üst toprak dışında da bazı bitkilerin Cd alımı gerçekleştirdiğini, buğday tanesindeki Cd'un % 15-37'sinin yüzey altı topraktan alındığını belirtmişlerdir. Chaudri vd. (2001), uzun süreli atık çamur ile gübreleme yapılan alanlarda yaptıkları çalışmada, bu alanlarda yetiştirilen buğdayların tane analizlerinde Cd miktarının izin verilen maksimum sınır değerinden ($0,1 \text{ mg kg}^{-1}$) fazla olduğunu belirtmişlerdir. Terelak vd. (2001), 606 adet kışlık buğday örneğinde test yapmış ve $0,044 \text{ mg kg}^{-1}$ Cd içerdiğini belirtmişlerdir.

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetişen buğday bitki sap ve tanesinin Pb ve Ni kapsamı benzer sonuçlar göstermiş, artan çamur dozuna bağlı olarak bitki ve tane Pb ve Ni içerikleri artmış, kontrole göre buğday tanesinin Pb ve Ni içeriklerinde belirlenen artış istatistiksel olarak önemli bulunmamış ancak buğday bitkisinin Pb ve Ni içeriklerinde kontrole göre çamur uygulamalarında meydana gelen artış $P < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Cd'a benzer şekilde buğday tanesinde bitki sapına göre daha fazla Pb belirlenmiştir (Çizelge 4.23). Bitkide tolere edilebilir Pb limit değeri 5-10 mg kg^{-1} olarak Kabata-Pendias ve Pendias (1992) tarafından belirtilmiştir. Nikelin çoğu için esansiyel olmamakla beraber tahılların tanesinde çimlenme gücü açısından önemli olduğu belirtilmektedir (McGrath ve Smith 1992). Bitkilerde kritik seviyenin kuru maddede 20-30 μgg^{-1} olduğu ve Ni için toprak-bitki transfer katsayısının 0,1-1 olduğu belirtilmektedir (Sauerbeck, 1991). Araştırma bulguları bu değerlerin altındadır.

Çizelge 4.26 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cd, Pb, Ni kapsamları ($\mu\text{g/kg}$) üzerine etkisi

Uygulama	Cd Sap	Cd Tane	Pb Sap	Pb Tane	Ni Sap	Ni Tane
A	1,52ÖD	2,82A	1051B	2017ÖD	1447B	3388ÖD
B	6,37ÖD	32,57A	1468AB	5513ÖD	1765AB	14682ÖD
C	1,52ÖD	11,30A	1592AB	2789ÖD	1785AB	3747ÖD
D	15,37ÖD	13,97B	1806A	2703ÖD	2372A	4471ÖD
E	10,10ÖD	39,00A	1830A	9365ÖD	1584AB	5904ÖD
F	12,52ÖD	42,30A	1439AB	9310ÖD	2289A	10393ÖD
G	1,23ÖD	30,62A	1277B	6737ÖD	1850AB	4115ÖD
H	2,80ÖD	28,20A	1143AB	3996ÖD	1584AB	3713ÖD
LSD<0.05	22,13	71,92	554,39	7599	707,88	13252

Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

LSD: Least Significant Difference.

ÖD: Önemli Değil

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol

B: DAP (2,5kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *

C: 4kg/da azota denk çamur

D: 8kg/da azota denk çamur

E: 16kg/da azota denk çamur

F: 32kg/da azota denk çamur

G: 4kg/da azota denk çamur + 4kg kimyasal N*

H: 6kg/da azota denk çamur + 2kg kimyasal N*

*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)

0kg/da çamur

0kg/da çamur

490 kg/da çamur

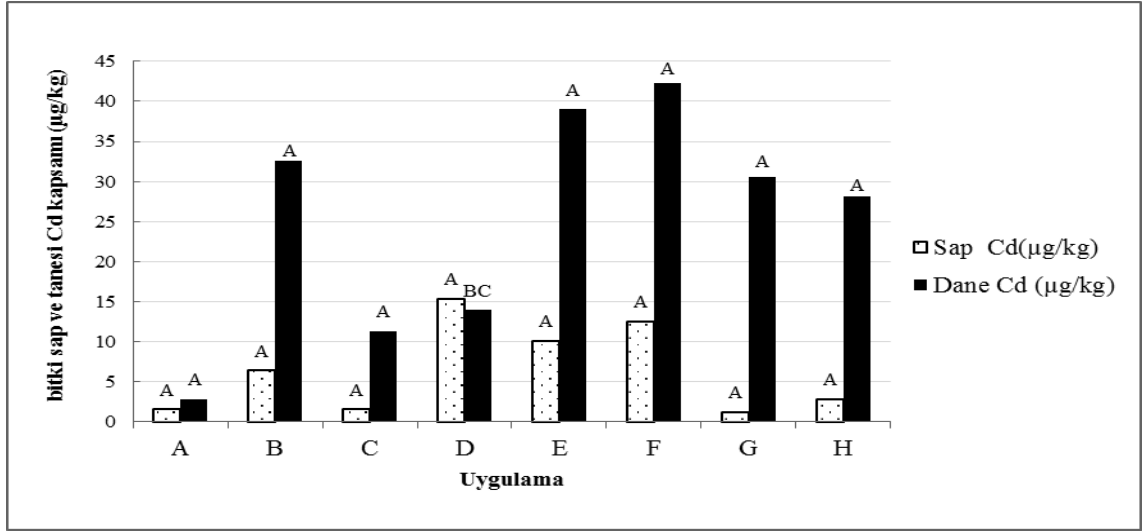
980 kg/da çamur

1960 kg/da çamur

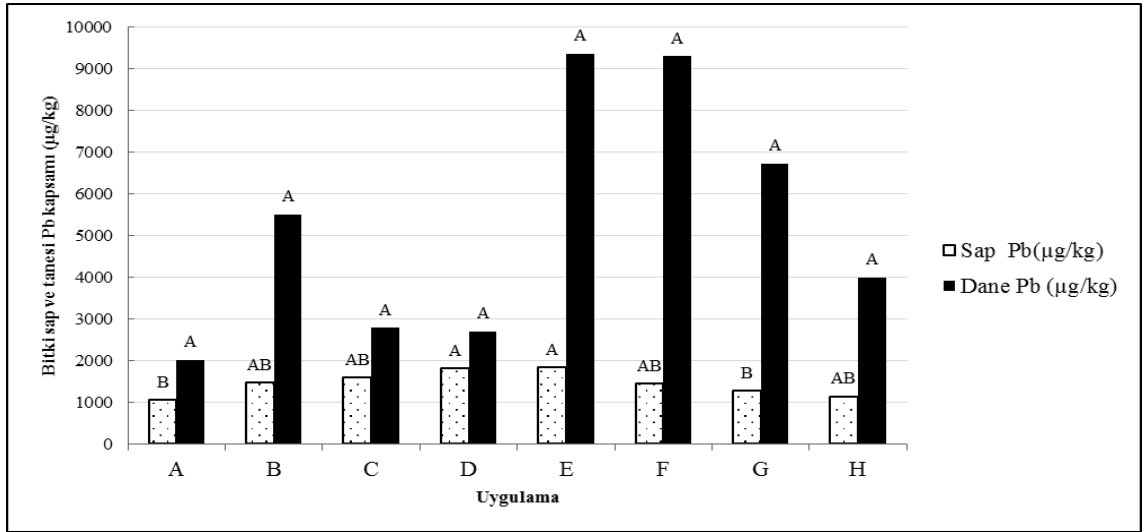
3920 kg/da çamur

490 kg/da çamur

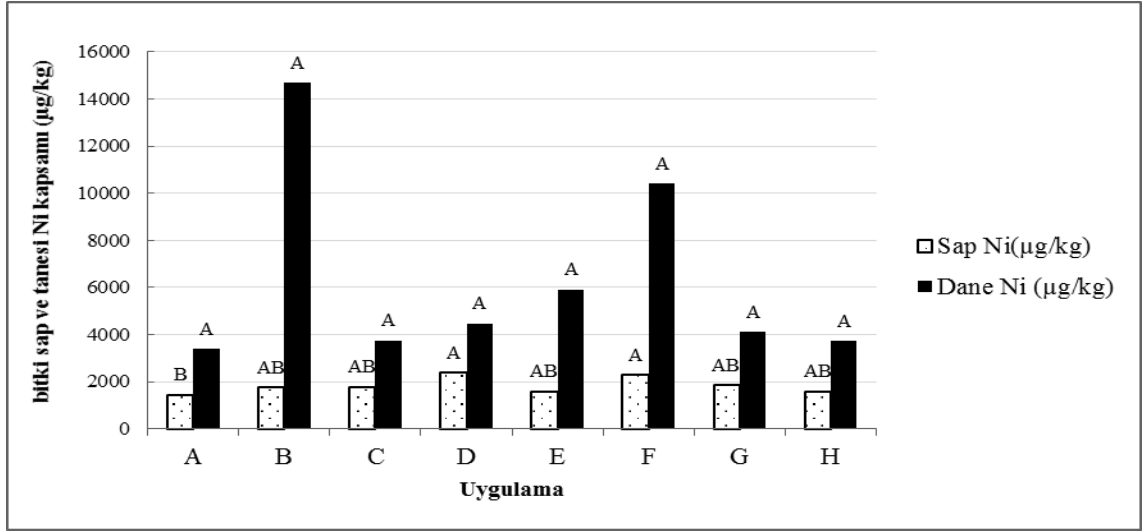
735 kg/da çamur



Şekil 4.67 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cd kapsamı üzerine etkisi



Şekil 4.68 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve Tanesi Pb kapsamı üzerine etkisi



Şekil 4.69 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Ni kapsamı üzerine etkisi

EC (2001) sınır değerlerine göre buğday tanesinde 0,2 mg/kg Pb olması gerekmekte, bu değere göre tarla denemesi kimyasal gübre uygulanmış parseller dahil tüm uygulamalarda buğday tanesi Pb içerikleri (kontrol toprağında 2 mg/kg; en yüksek çamur uygulamasında 9,3mg/kg ve DAP gübresi uygulamasında 5.5 mg/kg Pb) sınır değerlerin oldukça üzerinde belirlenmiştir. Bunun yanı sıra Ukrayna’da DSC komitesi tarafından 2004 yılında kabul edilmiş buğdayın gıda amaçlı kullanılması durumunda maksimum 0,5 mg/kg Pb ve yem olarak tüketilmesi durumunda da 5 mg/kg Pb içermesi gerektiğine dair belirlenmiş kritik değerler bulunmaktadır.

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetişen buğday bitki sap ve tanesinin Cr kapsamları çamur uygulanmış parsellerde kontrole göre artış göstermiş ve bu artış $P < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Buğday tanesinde sapına göre bazı uygulamalarda yüksek Cr, bazı uygulamalarda ise düşük Cr belirlenmiştir (Çizelge 4.27).

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetişen buğday bitki tanesi Zn değerleri 19,55 mg/kg (kontrol) - 5/kg (G uygulamasında); bitki sapında ise 30,75 (kontrol) - 46,47 mg/kg (E uygulaması) arasında belirlenmiş olup, artan çamur dozuna bağlı olarak bitki sap ve tane Zn kapsamları artış göstermiş ancak bu artış istatistiksel olarak önemli

bulunmamıştır (Çizelge 4.24). Buğday tanesinde olması gereken Cr, Zn ve Cu'a ait EC kritik değeri bulunmamaktadır. Ippolito vd. (1992), toprağa arıtma çamuru ilavesinin buğday tanesi Zn, Cu ve Ni içeriği ile buğday sapı azot içeriğini artırdığını belirtmişlerdir. Ailincai vd. (2010), Moldovya'da yürüttükleri 3 yıllık tarla denemesinde farklı oranlarda uyguladıkları arıtma çamurunun buğday tanesi element içeriklerine etkisini araştırmışlardır. Araştırmacılar 30 ton/ha arıtma çamuru ilave edilmiş toprakta yetişen buğday tanesi Zn içeriğini 13,6 mg/kg, Cu içeriğini 0,42 mg/kg olarak belirlemiş, tanedeki Cd, Pb ve Ni içeriklerinin ise deteksiyon limitlerinin altında olduğunu belirtmişlerdir. McGrath vd. (2000), yaptıkları yaklaşık 60 yıllık (1942 başlayan) bir çalışma ile arıtma çamurları uygulanan alanlarda Cd ve Zn'nun bitkiler tarafından topraktan alımını araştırmışlardır. Aynı zamanda çiftlik gübresi ve mineral ticari gübrelere gübrenilmiş alanlar da izlenmiş ve bu alanlara göre çamur uygulanmış alanlarda Zn ile Cd'un ekstrakte edilebilir miktarlarının çok daha yüksek olduğunu, çamur uygulamasının durdurulduğu 1961'den sonraki 23 yıllık dönem boyunca ise Cd ve Zn'nun ekstrakte edilebilirliğinde bir azalma olmadığını ve bu ağır metallerin bitki bünyesine alınabilirliklerinin 23 yıldan fazla izlenmesine rağmen halen azalmadığını belirtmişlerdir.

Çizelge 4.27 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cr, Zn, Cu kapsamaları üzerine etkisi

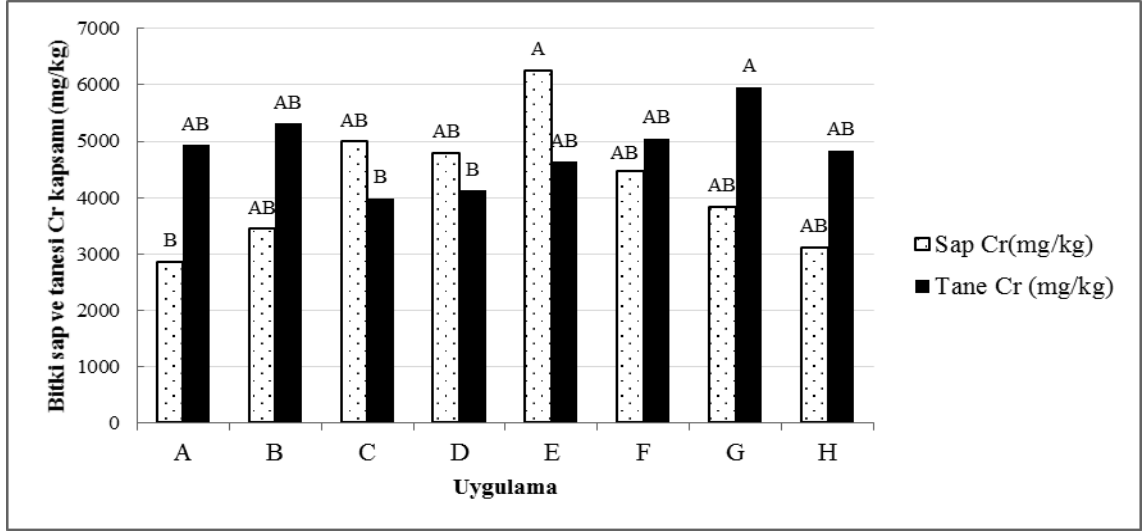
Uygulama	Cr µg/kg Sap	Cr µg/kg tane	Zn mg/kg Sap	Zn mg/kg tane	Cu mg/kg Sap	Cu mg/kg tane
A	2857B	4933AB	30,75ÖD	19,55ÖD	11,22C	20,35B
B	3448AB	5315AB	31,25ÖD	46,90ÖD	12,60B	72,65A
C	4995AB	3982B	43,22ÖD	29,17ÖD	13,17AB	18,50B
D	4796AB	4127B	39,17ÖD	24,10ÖD	13,32A	20,07B
E	6255A	4636AB	46,47ÖD	28,32ÖD	12,80AB	37,67AB
F	4469AB	5052AB	41,00ÖD	49,77ÖD	13,02AB	90,97A
G	3838AB	5958A	36,72ÖD	55,65ÖD	12,67AB	72,37A
H	3112AB	4832AB	39,07ÖD	21,90ÖD	12,92AB	21,07AB
LSD<0.05	2821,53	1464,86	17,35	37,92	0,594	68,91

Büyük harf düşey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P < 0.05$);

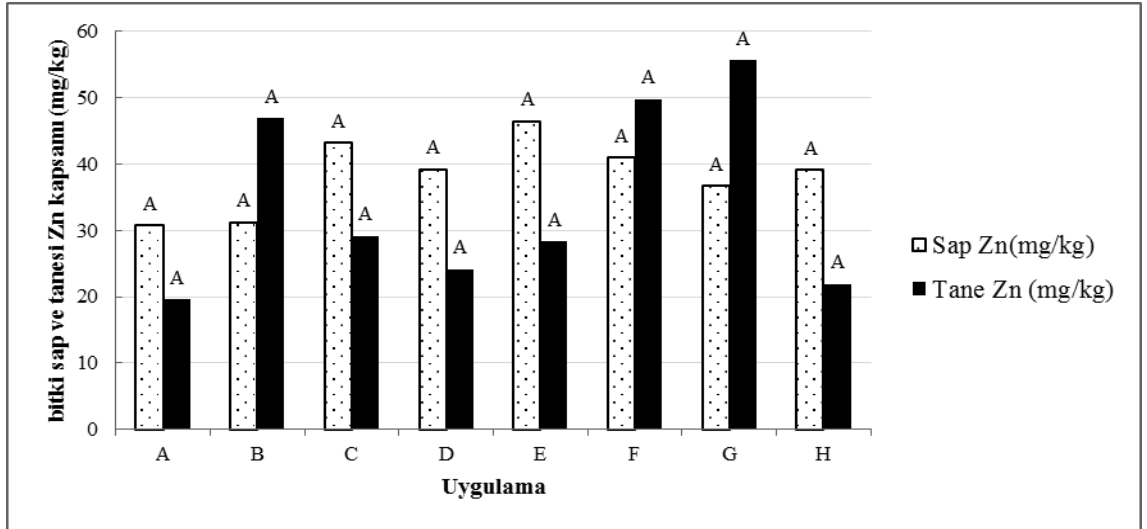
LSD: Least Significant Difference.

ÖD: Önemli Değil

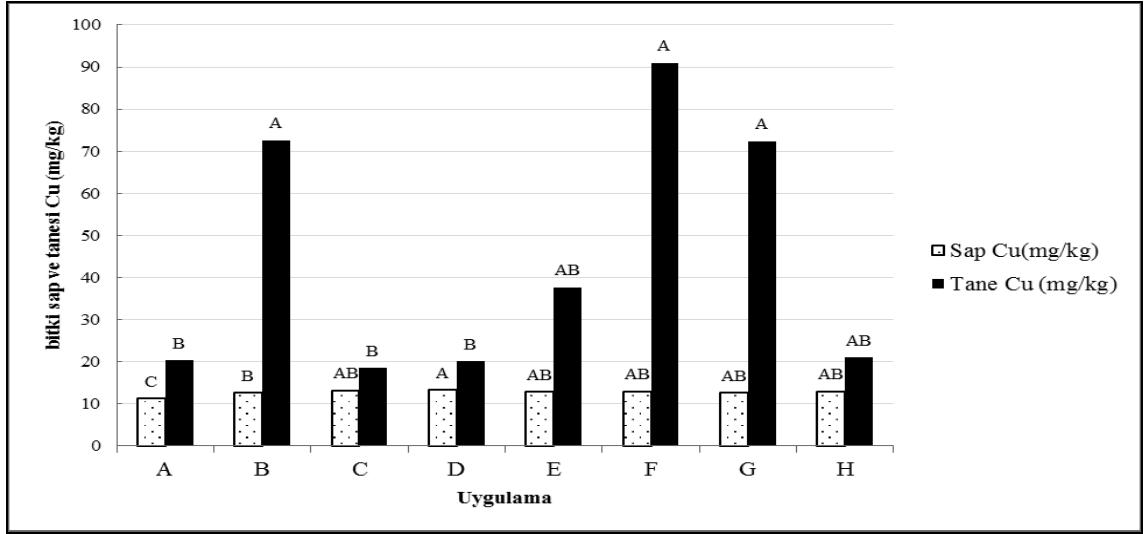
A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol	0kg/da çamur
B: DAP (2,5kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *	0kg/da çamur
C: 4kg/da azota denk çamur	490 kg/da çamur
D: 8kg/da azota denk çamur	980 kg/da çamur
E: 16kg/da azota denk çamur	1960 kg/da çamur
F: 32kg/da azota denk çamur	3920 kg/da çamur
G: 4kg/da azota denk çamur + 4kg kimyasal N*	490 kg/da çamur
H: 6kg/da azota denk çamur + 2kg kimyasal N*	735 kg/da çamur
*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)	



Şekil 4.70 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cr kapsamı üzerine etkisi



Şekil 4.71 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Zn kapsamı üzerine etki



Şekil 4.72 Tarla denemesi uygulamalarının buğday sap ve tanesi Cu kapsamı üzerine etkisi

Arıtma çamuru uygulanan topraklarda yetişen buğday sapının Cu kapsamı en düşük kontrol, en yüksek D uygulamasında belirlenmiş, uygulamalar arasındaki fark $P < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.24). Buğday tanesi Cu içerikleri ise B (kimyasal gübre uygulaması), F ve G uygulamalarında diğer uygulamalara göre yüksek bulunmuş, uygulamalar arasındaki fark $P < 0,95$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Pb ve Cd'ye benzer şekilde buğday tanesinde bitki sapına göre daha fazla Cu belirlenmiştir (Çizelge 4.24). Menelik vd. (1991), 80 kg/ha azota denk çamur ilavesinin buğday tanesi N, P, Zn ve Cu içeriklerini önemli derecede artırdığını belirtmişlerdir.

Chaney vd. (1999), topraktaki ağır metallerin bitki tarafından alınabilirliğini; bitki türü yanında toprak pH'sı, kil durumu, organik madde, KDK, kireç, sülfat, klor gibi toprak faktörlerinin belirlediğini, bitkiler tarafından metallerin aşırı alımları sonucunda ise fitotoksik belirtilerin görülebileceğini, ürün kalite ve miktarı ile süs bitkilerinin görsel değerinin de düşebileceğini belirtmişlerdir. Türkmen vd. (2001), arıtma çamuru uygulamasının sera şartlarında yetiştirilen arpa ile bazı ağır metallerin topraktan alınabilirliği konusunda yaptıkları çalışmada; Arıtma çamuru uygulamalarının, toprakta toplam ve alınabilir, Cu, Zn, Pb ve Ni miktarlarını artırdığını buna rağmen Mn'in alınabilir miktarlarını azalttığını ve Fe'in ise alınabilir veya toplam miktarları arasında fark olmadığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada yüksek dozlardaki

uygulamalarda bitki bünyesindeki metallere Cu ve Pb dışındaki metallerin (Fe, Zn, Mn, Ni) toprakta izin verilen sınırlarda kaldığını belirtmişlerdir.

4.3.12.4 Ağır Metallerin Biyo-alınabilirlikleri (Transfer Faktörü)

Biyo-alınabilirlik elementin bitkideki miktarının toprakta bulunan toplam miktarına oranıyla bulunmaktadır ve genellikle transfer faktörü (TF) olarak adlandırılmaktadır (Freytag 1986). Aynı bitki için Cd, Zn, Pb vb metaller açısından transfer faktörü farklıdır. Mısır için transfer faktörü Puschenreiter vd. (2005) tarafından araştırılmış ve Cd için 0,3, Zn için 0,68 ve Pb için 0,01 olarak belirlemişlerdir. Arıtma çamuru, kompost, ahır gübresi gibi organikler ve zeolit gibi inorganiklerin kullanılması, topraktan bitkiye metallerin biyoalınabilirliklerini değiştirebilmektedir (Morariu 2011).

Smolders (2001), yapmış olduğu çalışmada farklı bitkiler için TF belirlemiş ve buğday için Cd TF değerinin 0,055 olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada buğday bitkisinin metaller için TF faktörünü belirlerken buğday bitkisi sap ve tanesinin ağır metal içerikleri, hasat dönemi topraklarının toplam ağır metal içeriklerine bölünmüş ve çizelge 4.28 ve 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.28 Buğday sap ve tanesi için Cd, Pb ve Ni Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)

Uygulama	Sap Cd TF	Tane Cd TF	Sap Ni TF	Tane Ni TF	Sap Pb TF	Tane Pb TF
A	0,010B	0,033B	0,004ÖD	0,008B	0,004ÖD	0,009B
B	0,053B	0,271A	0,005ÖD	0,020A	0,004ÖD	0,035A
C	0,013B	0,098AB	0,005ÖD	0,009A	0,004ÖD	0,008B
D	0,141A	0,128A	0,006ÖD	0,008A	0,007ÖD	0,011A
E	0,134A	0,518A	0,006ÖD	0,029A	0,004ÖD	0,014A
F	0,190A	0,643A	0,004ÖD	0,026A	0,005ÖD	0,025A
G	0,018B	0,457A	0,003ÖD	0,011A	0,004ÖD	0,009B
H	0,032B	0,353A	0,004ÖD	0,019A	0,004ÖD	0,008B
LSD<0.05	0,153	0,423	0,00273	0,022	0,0028	0,0255

Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

LSD: Least Significant Difference.

ÖD: Önemli Değil

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol

B: DAP (2,5kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *

C: 4kg/da azota denk çamur

D: 8kg/da azota denk çamur

E: 16kg/da azota denk çamur

F: 32kg/da azota denk çamur

G: 4kg/da azota denk çamur + 4kg kimyasal N*

H: 6kg/da azota denk çamur + 2kg kimyasal N*

*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)

0kg/da çamur

0kg/da çamur

490 kg/da çamur

980 kg/da çamur

1960 kg/da çamur

3920 kg/da çamur

490 kg/da çamur

735 kg/da çamur

Çizelge 4.29 Buğday sap ve tanesi için Zn, Cu ve Cr Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)

Uygulama	Sap Zn TF	Tane Zn TF	Sap Cu TF	Tane Cu TF	Sap Cr TF	Tane Cr TF
A	0,536ÖD	0,341B	0,625ÖD	1,134B	0,017ÖD	0,029ÖD
B	0,517ÖD	0,775A	0,676ÖD	3,898A	0,014ÖD	0,022ÖD
C	0,552ÖD	0,373B	0,635ÖD	0,941B	0,020ÖD	0,016ÖD
D	0,622ÖD	0,383B	0,737ÖD	1,110B	0,021ÖD	0,018ÖD
E	0,797ÖD	0,486A	0,685ÖD	2,016A	0,026ÖD	0,019ÖD
F	0,678ÖD	0,823A	0,594ÖD	4,148A	0,018ÖD	0,020ÖD
G	0,467ÖD	0,707A	0,603ÖD	3,443A	0,016ÖD	0,025ÖD
H	0,481ÖD	0,270B	0,622ÖD	1,014B	0,012ÖD	0,019ÖD
LSD<0.05	0,323	0,310	0,147	2.898	0,011	0,015

Büyük harf düzey olarak her bir doz arasındaki karşılaştırma ($P<0.05$);

LSD: Least Significant Difference.

ÖD: Önemli Değil

A: Kontrol: Gübresiz ve çamursuz kontrol

B: DAP (2,5kg azot) + 5,5 kg kimyasal N *

C: 4kg/da azota denk çamur

D: 8kg/da azota denk çamur

E: 16kg/da azota denk çamur

F: 32kg/da azota denk çamur

G: 4kg/da azota denk çamur + 4kg kimyasal N*

H: 6kg/da azota denk çamur + 2kg kimyasal N*

*Kimyasal N (üst gübreleme olarak NH_4NO_3)

0kg/da çamur

0kg/da çamur

490 kg/da çamur

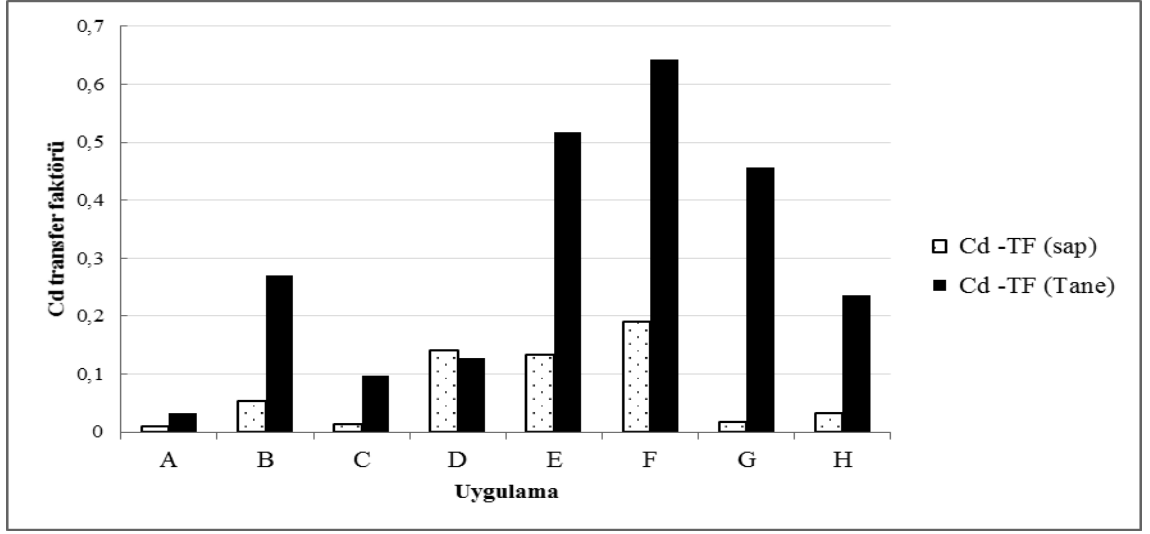
980 kg/da çamur

1960 kg/da çamur

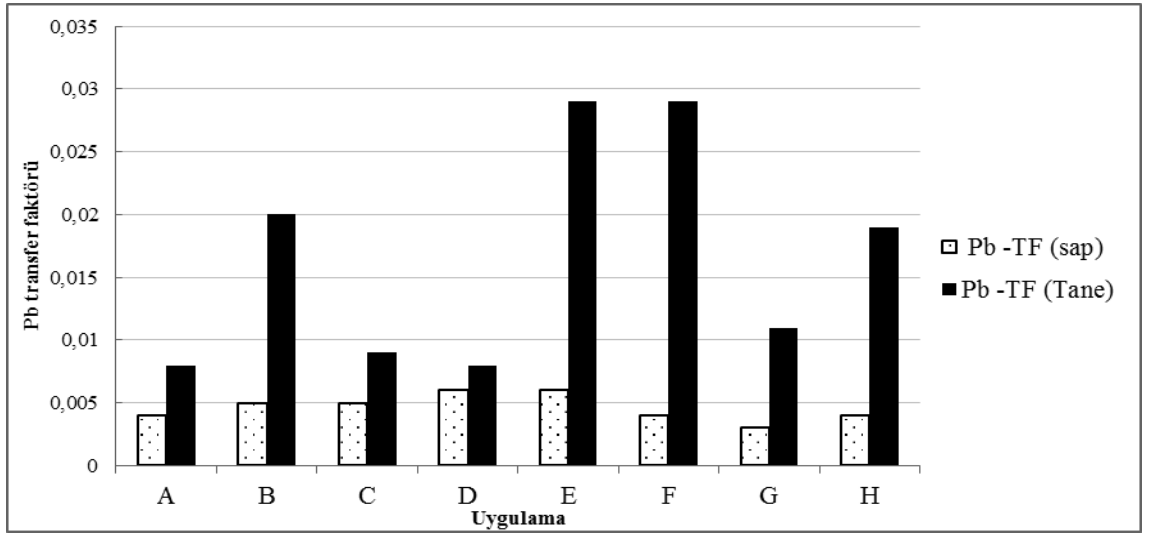
3920 kg/da çamur

490 kg/da çamur

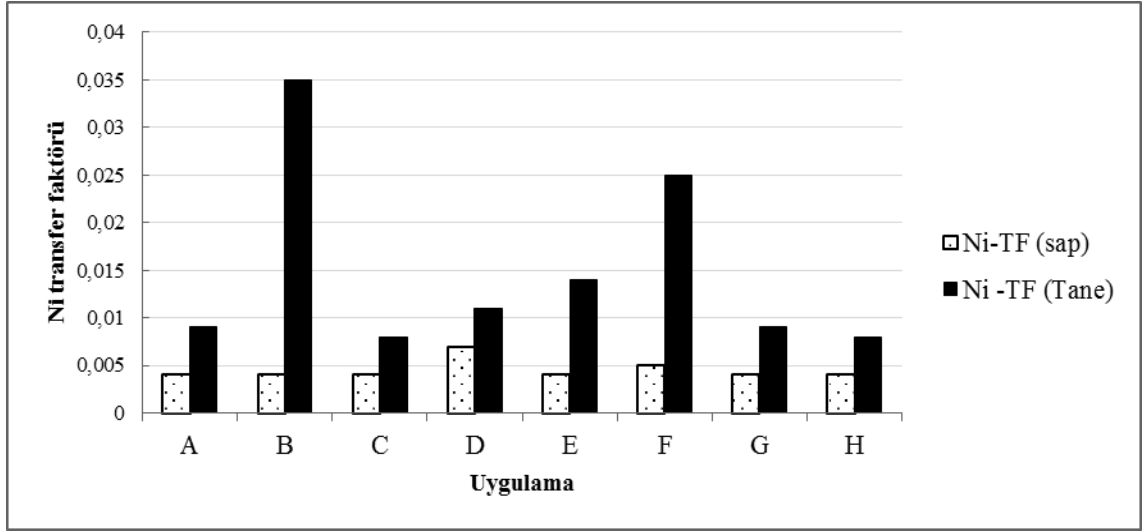
735 kg/da çamur



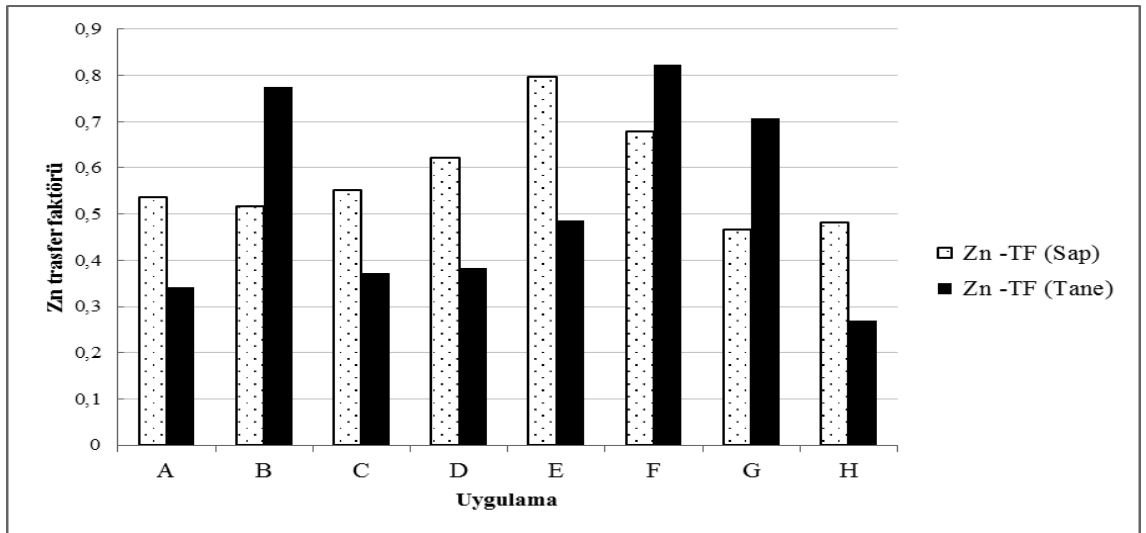
Şekil 4.73 Buğday sap ve tanesi için Cd Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)



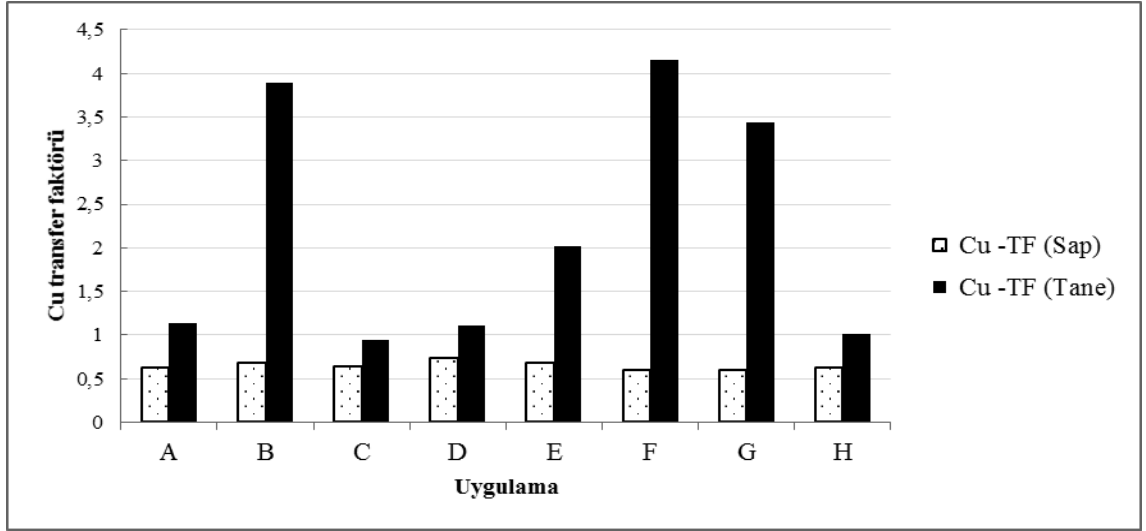
Şekil 4.74 Buğday sap ve tanesi için Pb Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)



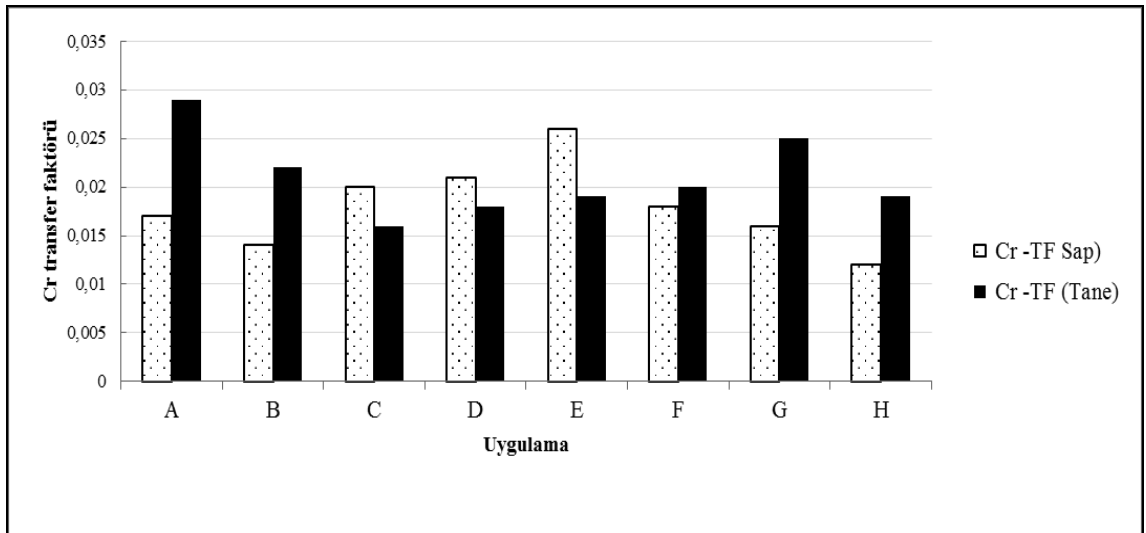
Şekil 4.75 Buğday sap ve tanesi için Ni Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)



Şekil 4.76 Buğday sap ve tanesi için Zn Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)



Şekil 4.77 Buğday sap ve tanesi için Cu Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)



Şekil 4.78 Buğday sap ve tanesi için Cr Transfer Faktörü (Bitki metal/Toprak toplam metal)

Çizelge 4.28 incelendiğinde toprakların toplam Cd değerleri arıtma çamuru uygulamasına bağlı olarak azalmış olmasına rağmen, artan çamur dozuna bağlı olarak TF faktörü de artış göstermiş yani topraktan bitkiye Cd transferi çamur uygulamalarında doza bağlı olarak daha fazla olmuştur. Buğday tanesinin Cd transfer faktörü, buğday sapı transfer faktörüne göre oldukça yüksek olup, buna göre Cd'nin topraktan buğday bitkisi sapından daha çok tanesine geçişi olmuştur.

Pb ve Ni metallerinin TF değerine bakıldığında ise uygulamalar arasında çok değişkenlik belirlenmemiş topraktan bitkiye Pb ve Ni geçişinde önemli bir fark ortaya konulmamıştır. Topraktaki Pb'un çok az bir miktarı bitkilerin alımı için uygundur. Genel olarak bitkilerde Pb konsantrasyonları topraktaki Pb konsantrasyonu ile artmaktadır. Bitkilerin Pb alımı mevsimsel olarak değişmektedir. Aktif gelişme döneminde bitki kuru maddesindeki Pb konsantrasyonu 0,3-1,5 mg kg⁻¹ arasında olduğu rapor edilmiştir (Alloway 1990). Sonbaharda bitkilerin kuru maddesindeki Pb konsantrasyonu 10 mg kg⁻¹ iken kışın bu 30-40 mg kg⁻¹ kadar çıktığı tespit edilmiştir. Toprakta organik madde, oksitler ve kil miktarı arttıkça metallerin bitkiye alınabilirliği azalır. Organik madde Pb ve Cu gibi metallerle dayanıklı bileşik oluşturabilir. Bazı metaller humik maddeleri ile güçlü bileşik oluşturabilirler. Kil ve oksitler, adsorbsiyon yüzeyleri olduğu için metallerin bitkiye alınabilirliğini etkiler (Sönmez vd. 2007). Moreno vd. (1996), 20 ve 80 t ha⁻¹ arıtma çamuru ilave ettikleri toprakta arpa bitkisinin tanesinde Ni değerlerini sırasıyla 1,21 ve 1,29 mg kg⁻¹ olarak belirlemiştir. Araştırmacılar Ni ve Cu'nun topraktaki seviyelerinde çamur uygulamasına bağlı artışlarına rağmen, toprağın karakteristik koruyucu özelliklerinden dolayı (kireçli ve pH=8.77) adsorbe edildiklerini ve bundan dolayı bu elementlerin bitkiye geçişlerinde engelleme yaptığını belirlemişlerdir.

Smolders (2011), çalışmasında Cd için TF üzerine değerlendirmeler yapmış ve Cd'un topraktan bitkiye transferinde atmosferik depozitlerin yanı sıra toprakta tuzluluk, pH, kireç, OM miktarı ve Zn miktarının önemli etkisi olduğunu belirtmiştir. Araştırmacıya göre toprağın tuz miktarı arttıkça Cd TF değeri de artış göstermekte yani topraktan bitkiye Cd geçişi artış göstermektedir (McLaughlin, 1994). Toprak pH'sı ise düştükçe bitkiye transfer artış göstermekte, Zn ile ilgili olarak da toprakta Zn eksikliği ortaya çıkmaya başlayınca bitkinin Cd alım miktarının arttığını, ortama Zn ilave edildiğinde ise topraktan bitkiye Cd geçişinin (TF) azaldığını belirtmiştir (Mcgrath ve Lowland 1992). Mench vd. (1997), Fransa'da kirlenmemiş toprakta yetiştirilmiş buğday tanesinde belirlenen 0,1 mg/kg'dan fazla Cd'un topraktaki Zn eksikliğinden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Cd'ye benzer şekilde buğday tanesinin Pb, Ni, Zn, Cu ve kısmen Cr transfer faktörü değerleri, buğday sapı transfer faktörüne göre fazla olmuştur. Moreno vd. (1996), 20 ve 80 t ha⁻¹ arıtma çamuru ilave ettikleri toprakta arpa bitkisinin tanesinde Cu değerlerini sırasıyla 6,00 ve 11,20 mgkg⁻¹ olarak belirlemiştir. Araştırmacılar tanedeki Cu konsantrasyonunun saptaki konsantrasyondan daha fazla olduğunu ve bundan dolayı da saptan taneye Cu geçişinde problem olmadığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca Zn'nun arpa bitkisinin sapına göre tanesinde daha fazla biriktiğini, bunun tersine olarak Cd'un ise bitkinin sapında daha fazla birikim gösterdiğini belirlemişlerdi.

Tarla denemesi sonuçları özetlenecek olursa;

1. Toprak numunelerinde artan çamur dozuna bağlı olarak toplam azot, alınabilir P, K, organik madde, KDK ve EC değerlerinde artışlar belirlenmiştir.
2. Toprakların pH değerlerinde önemli bir değişiklik belirlenmemiştir.
3. Toprakta toplam ve alınabilir ağır metal (Ni, Pb, Cu, Cr, Zn) kapsamlarında artış belirlenmiş, alınabilir Ni hariç diğer metallerde belirlenen bu artışlar istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Toplam Cd ise artan çamur dozuna bağlı olarak istatistiksel olarak önemli bir azalma göstermiştir. Çamur uygulamasına bağlı olarak toprak kolloidleri tarafından ağır metaller organo-metal komplekleri oluşturmak suretiyle toprakta tutulabilmekte, uzun vadede ise organik maddenin ayrışmasıyla toprak çözeltisine geçmektedirler.
4. Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı meydana gelen bu artışlara rağmen toprakların ağır metal içerikleri yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin altında belirlenmiştir.
5. Buğday bitkisinin sap ve tanesindeki Cd ve Zn miktarları farklı uygulamalar ile kontrole göre istatistiksel olarak önemli bir artış göstermemiştir.
6. Buğday bitkisinin tanesindeki Cu, Pb, Cd ve Ni miktarları farklı uygulamalar ile kontrole göre istatistiksel olarak önemli bir artış göstermiştir. Ancak sapındaki Cu, Pb ve Ni miktarları ise kontrole göre diğer uygulamalarda istatistiksel olarak önemli bir değişiklik göstermemiş, sadece sap Cd içeriği tane Cd içeriğine benzer şekilde tüm uygulamalarda kontrole göre artış göstermiştir.

7. Hesaplanan transfer katsayısına göre topraktan taneye taşınan ağır metal miktarları, topraktan sapa geçenden daha fazla bulunmuştur.
8. Buğday tanesinde belirlenen Cd miktarı Gıda kodeksi, FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations ve AB'nin (Avrupa Birliği) buğday tanesi için belirlemiş olduğu sınır değer (ort. 0,2 mgkg⁻¹) altında bulunmuş, ancak kontrole göre kimyasal gübre uygulaması da dahil olmak üzere bütün uygulamalarda tanedeki kurşun sınır değer (ort. 0,2 mgkg⁻¹) oldukça üstünde bulunmuştur.
9. Araştırma topraklarında arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak toplam ve alınabilir element içerikleri artmıştır. Arıtma çamurlarının toprakta kullanımıyla ilgili yönetmelikte izin verilen konsantrasyonların altında olmasına karşın, daha sık yapılan uygulamalarda bu değerlerin yükselebileceği dikkate alınmalıdır. Bu nedenle özellikle her yıl veya daha geniş aralıklarla devamlı yapılan arıtma çamuru uygulamalarında, topraktaki toplam ve alınabilir element konsantrasyonlarının yönetmelikte de belirtildiği gibi devamlı izlenmesi gerekmektedir.
10. Arıtma çamurunun tek başına uygulandığı tüm dozları ile çamurun kimyasal gübrelere karıştırılıp uygulandığı topraklarda incelenen mikrobiyal parametrelerde (beta glukozidaz enzim aktivitesi, karbondioksit çıkışı, mikrobiyal biyokütle karbonu) her iki örnekleme döneminde de (başlangıç toprakları beta glukozidaz enzimi hariç) kontrol ve tek başına kimyasal gübre uygulamasına göre P<0.05 düzeyinde önemli şekilde artırmış, qCO₂ değerini ise düşürmüştür.
11. Arıtma çamuru uygulamalarının topraktaki mikrobiyal biyokütle, toprak solunumu, ve beta glukozidaz enzim aktivitesi ve qCO₂ değeri üzerindeki olumlu etkisi, muhtemelen toprağa giren yüksek organik maddenin mikrobiyal biyokütleyi ve bununla ilişkili olarak da enzim aktivitesini artırmasından kaynaklanmıştır. Bu artışta kullanılan arıtma çamurunun ağır metal içeriğinin izin verilen maksimum konsantrasyonların altında olması ve tek uygulamanın yapılması büyük rol oynamıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tüm denemelerde (inkübasyon, sera, tarla) çamur uygulamalarının toprağın bazı kimyasal özelliklerini (OM, KDK, N, P) olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Kireç ve pH etkilenmemiş, toprağın tuz içeriği ise artmıştır. Toprak tuzluluğu Türkiye topraklarının ayrıca önemli problemi iken arıtma çamuru ilavesi ile tuzsuz toprakları uzun vadede tuzlu topraklar haline getirerek toprakların çoraklaşmasına da neden oluşturarak tuzlu toprakların ıslahı ile ilgili araştırmaların artmasına neden oluşturabilecektir. Artan dozlarda arıtma çamuru ilave edilmiş topraklarda yukarıda belirtilen bazı kimyasal özelliklerde belirlenen olumlu etkilerin yanısıra toprakta gerek toplam gerekse alınabilir ağır metal kapsamalarında da artışlar belirlenmiştir. Araştırma topraklarında arıtma çamuru uygulamalarına bağlı olarak toplam ve alınabilir element içerikleri artmıştır. Topraklarda belirlenen ağır metal konsantrasyonları arıtma çamurlarının toprakta kullanımıyla ilgili yönetmelikte izin verilen konsantrasyonların altında olmasına karşın, daha sık yapılan uygulamalarda bu değerlerin yükselebileceği dikkate alınmalıdır. Bu nedenle özellikle her yıl veya daha geniş aralıklarla devamlı yapılan arıtma çamuru uygulamalarında, topraktaki toplam ve alınabilir ağır metal konsantrasyonlarının yönetmelikte de belirtildiği gibi devamlı izlenmesi gerekmektedir.

Bir yıllık tarla denemesinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda buğday bitkisinin sap ve tanesinde Pb miktarının kontrole göre bütün uygulamalarda fazla olması ve özellikle de Gıda kodeksi, FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations ve AB'nin (Avrupa Birliği) belirlediği sınır değer (0.2 mg kg⁻¹) üzerinde olması Ankara Atıksu Arıtma Tesisi çamurunun tarımsal amaçlı kullanılmaması gerektiğini belirtmektedir. Bir yıllık bu çalışmanın uzun vadeli çalışmalarla desteklendikten sonra bu sonuç netleştirilmelidir. Aynı denemede, topraktan bitkiye ağır metal taşınım miktarını belirleyen transfer katsayısı değerleri uygulamalara bağlı olarak artış göstermiştir. Buğday bitkisinin tanesinde sapına göre daha yüksek ağır metal miktarları

belirlenmiştir. Buda kirleticilerin besin zincirine girerek insan ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etki oluşturabileceğini göstermektedir.

Topraktan bitkiye ağır metal taşınım miktarını belirleyen transfer katsayısı değerleri uygulamalara bağlı olarak artış göstermiştir. Buğda sap ve tanesinin Ni TF değerleri Sauerbeck (1991)'in Ni için verdiği transfer katsayısının (0,1-1) oldukça altında bulunmuştur. Buğday bitkisi Cd transfer faktörü ise en yüksek çamur uygulamasında (F) sap için 0,19 ve tane için 0,643 olarak belirlenmiş, bu değer Smolders (2001) tarafından verilen Cd TF değerinin (0.055) üzerindedir. Diğer metallerle ilgili TF sınır değerlerine ait bilgiler bulunamamıştır. İnorganik gübre olan DAP gübresi uygulaması dahil tüm uygulamalarda buğday bitkisinin tanesinde sapına göre daha yüksek ağır metal miktarları belirlenmiştir. Buda kirleticilerin gerek inorganik gübrelerle gerekse arıtma çamuru gibi organik atıklarla besin zincirine girerek insan ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etki oluşturabileceğini göstermektedir.

Arıtma çamuru uygulamalarına bağlı yukarıda belirtilen ağır metal miktarlarındaki artışlara karşın çamur uygulamaları toprağın biyokimyasal özelliklerini uyarıcı etkide bulunmuştur. Artan çamur dozuna bağlı olarak toprakların biyokimyasal aktiviteleri genel olarak artış göstermiştir. Ağır metal miktarı arttıkça mikrobiyal aktivitelerdeki strese bağlı olarak qCO_2 değerinin arttığına yönelik çalışmaların aksine bu araştırmada tarla denemesinde arıtma çamuru uygulaması toprağın metabolik mikrobiyal bölümünü (qCO_2 değeri) kontrole ve kimyasal gübre uygulamasına göre başlangıçta azaltmış, tarla denemesinin sonunda ise değerler birbirine yaklaşmıştır (en yüksek çamur dozu hariç). İnkübasyon denemesinde ise, Gaziantep, Lara, Çiğili ve Düzce çamuru uygulanmış topraklarda yüksek çamur dozlarında qCO_2 değerinin diğer uygulamalara göre yükselmesi bu topraklarda çamurun mikrobiyal biyokütle tarafından daha az verimli olduğunu, biyolojik verimin azaldığını göstermektedir. Yozgat çamuru uygulamaları toprağın biyolojik verimliliğini olumlu yada olumsuz yönde etkilememiş, Karamürsel çamurunda ise arıtma çamuru uygulamaları ile qCO_2 değerinin kontrole göre azalarak topraklarda biyolojik verimliliğin arttığı görülmüştür.

Arıtma çamuru uygulamalarının topraktaki mikrobiyal biyokütle, toprak solunumu, mikrobiyal metabolik bölüm (qCO_2) ve beta glukozidaz enzim aktivitesi üzerindeki olumlu etkisi, muhtemelen toprağa giren yüksek organik maddenin mikrobiyal biyokütleyi ve bununla ilişkili olarak da enzim aktivitesini artırmasından kaynaklanmıştır. Bu artışta kullanılan arıtma çamurunun ağır metal içeriğinin izin verilen maksimum konsantrasyonların altında olması ve tek uygulamanın yapılması da büyük rol oynamıştır. Bir kez yapılan uygulamaların mikrobiyal biyokütle üzerinde olumlu (Dar 1996, Barbarick vd. 2004), uzun yıllar yapılan uygulamaların ise olumsuz etkilere sahip olduğu (Stoven vd. 2005, Balzer ve Ahrens 1990) bilgisi de göz önüne alınarak çamur uygulama sıklığının ne olacağının belirlenmesi için uzun dönemli tarımsal uygulamaların yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; kullanılan arıtma çamurunun, deneme toprağının ve yöre iklim koşullarının (İç Anadolu iklim koşullarının) etkisi altında ortaya çıkmıştır. Farklı faktörler altında sonuçlar değişebileceği için, bulguların genelleştirilmeden kullanılması gerektiği akıldan çıkarılmamalıdır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Sabour, M.F., Mordvedt, J.J. and Kelsoe, J.J. 1988. Cd-Zn interactions in plants an extractable Cd and Zn fractions in soil. *Soil Sci*, 145, 424-431.
- Adams, M.L., Zhao, F.J., McGrath, S.P., Nisholson, F.A. and chambers, B.J. 2007. Predicting Cadmium Concentrations in Wheat and Barley Grain Using Soil Properties. *J.of environ. Quality*, 33 (2), 532-541.
- Adriano, D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial enviroment. Spring-Velag, New York.
- Aggelides, S.M. and Londra, P.A. 2000. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology*, 71(3), 253-259.
- Ailincăi, C., Jităreanu, G., Ailincăi, D. and Balan, A. 2010. Influence of some organic residues on wheat and maize yield and eroded soil fertility. *Cercetări Agronomice în Moldova*. Vol. XLIII (1), 141.
- Ailincăi, A., Jităreanu, G., Tsadilas, C.D., Ailincăi, D., Zbant, M. and Balan, A. 2009. Effect of municipal sewage sludge on winter rape and soybean production. *Cercetări Agronomice în Moldova*. XLII (3), 139.
- Ailincăi, C., Jităreanu, G., Bucur, D., and Ailincăi, D. 2007. Influence of sewage sludge on maize yield and quality and soil chemical characteristics. *Cercetări Agronomice în Moldova*, XLV (1), 149.
- Aksu, T. 2008. Isparta Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisinde Oluşan Çamurun Bertaraf Stratejilerinin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Aktaş, M. 1995. Bitki besleme ve toprak verimliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1514, Ders Kitabı 467, Ankara.
- Al Zoubi, M.M., Arslan, A., Abdelgawad, G., Pejon, N., Tabbaa, M. and Jouzdan, O. 2008. The Effect of Sewage Sludge on Productivity of a Crop Rotation of Wheat, Maize and Vetch) and Heavy Metals Accumulation in Soil and Plant in Aleppo Governorate. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, 3 (4), 618-625.

- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. and Ingelmo, F. 2001. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludges during ten years. *Biores. Technol.*, 77, 109–114.
- Albiach, R., Canet, R., Pomares, F. and Ingelmo, F. 2000. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technology*, 75, 43-48.
- Alloway B.J. 1995. Heavy metals in soils. Blackie, London. pp.122-152.
- Alloway B.J. and Jackson A.P. 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge amended soils. *The science of the total environment*, 100, 151-176. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam.
- Alloway, B.J. 1990. Heavy Metals in Soils. John Wiley & Sons, 1 Wiley Drive, Somerset, New Jersey.
- Alloway, B.J. and Jackson, A.P., 1991, The Bioavailability of Cadmium to Lettuce and Cabbage in Soils Previously Treated With Sewage Sludges. *Plant and Soil*, 132, 179-186.
- Alloway, B.J. 1993. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic, Great Britain.
- Altınbaş, Ü. Yağmur, B., Gördüren, F. ve Yılmaz, N. 2004. İzmir Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi Atıklarının Tarımda Kullanılma Olanakları Üzerine Araştırmalar. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü- Büyükşehir Belediyesi İZSU Genel Müdürlüğü, İzmir.
- Anderson, M.S. 1959. Fertilizing characteristics of sewage sludge, *Sludge Ind. Wates*, 31, 678-682.
- Anderson, T.H., 2003. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ*, 98, 285–293.
- Angın, İ. ve Yağanoğlu, A. V. 2009. Arıtma Çamurlarının Fiziksel ve Kimyasal Toprak Düzenleyicisi olarak Kullanımı. *Ekoloji*, 19, 73, 39-47.
- Anonim, 1983. Land Application of Municipal Sludge Proces Design Manual, EPA-625/1-83-016, October 1983.
- Anonim, 2010a. Atıkların düzenli depolanmasına dair yönetmelik, 2010. Resmi Gazete Tarihi: 26.03.2010, Resmi Gazete Sayısı: 27533.
- Anonim, 2010b. Evsel ve kentsel arıtma çamurlarının toprakta kullanılmasına dair yönetmelik. Resmi Gazete, 03 Ağustos 2010, Sayı: 27661.

- Anonim. 2012. Polatlı Tarım İşletmesi Müdürlüğü 1999-2012 yılları arası toplam ve ekilişe düşen yağış miktarları. Polatlı TİGEM veri istasyonu, Ankara.
- Anonymous.1990. National Sewage Sludge Survey; Availability of Information and Data, and Anticipated Impacts of Proposed Regulations,proposed rule, Title 40 of the Code of Federal Regulations, Part 503. Fed. Regist, 55, 47 210–47 238.
- Anonymous. 1992. Technical Support Document for Land Application of Sewage Sludge, Document No. EPA-822/R0-93-001a.
- Anonymous.1993. The Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, Title 40 of the Code of Federal Regulations, Part 503.
- Anonymous. 1994a. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule, Office of Wastewater Management, EPA/832/R-93/003.
- Anonymous. 1994b. Land Application of Biosolids, Process Desing Manual, USEPA, Cincinnati Ohio, 12-21.
- Anonymous.1995. A Guide to the Biosolids Risk Assessment for the EPA Part 503 Rule, Office of Wastewater Management, EPA/8332//B-93-005.
- Anonymous.1996a. Evaluation of Candidate Pollutants for the Round Two Sewage Sludge Regulation, Office of Wastewater Management.
- Anonymous.1996b. Soil Screening Guidance, EPA Tech. Background Document No. 9355.4-23.
- Anonymous.1996c. Technical Support Document for the Round Two Sewage Sludge Pollutants, Office of Water, EPA-822/R-96-003.
- Anonymous. 1996d. Use of reclaimed water and sludge in food crop production. National Academy Pres, Washington, D.C.
- Anonymous. 1998. Fachgrundlage zur Erarbeitung eines BAT-Dokumentes, ber - Zementherstellung Umweltbundesamt, Wien, June.
- Anonymous.1999. Biosolids Generation, Use, and Disposal in the United States.
- Anonymous. 2000. Food Production and Security. (<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/topic1.htm>).
- Antolin, M.C., Pascaul, I., Garcia,C., Polo,A.and Sanchez-Diaz, M.2005.Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean conditions .Field Crops Res,94,224–237.

- Antoniadis, V. and Alloway, B.J. 2001. Availability of Cd, Ni and Zn to ryegrass in sewage sludge-treated soils at different temperatures. *Water, Air, and Soil Pollution*, 132, 201-214.
- Aoyama, M., Zhou, B., Saitah, M. and Yamaguchi, N. 2006. Microbial Biomass in Soils With Calcium accumulation associated With the Application of Composted lime Treated Sewage Sludge. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(2), 177-187.
- Arden, D. A. 1977. The agricultural use sewage sludge. In: R. C. Loehr (ed) *land as a waste management alternative*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 583-603.
- Arnesen, A. K. M. and Singh, B.R. 1999. Plant uptake and DTPA-extractability of Cd, Cu and Ni in a Norwegian alum shale soil as effected by previous addition of dairy and pig manures and peat. *Can. J. Soil Sci.*, 531-539.
- Arsıanoğlu, H. ve Koçer, N. 2005. Arıtma çamurlarının tarımsal amaçlı kullanılmasına ait yasal mevzuatlar, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, İzmir.
- Aşık, B.B. ve Katkat, A.V. 2004. Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları. *Uludağ Üni. Zir. Fak. Derg.*, 18 (2), 59-71.
- Aşık, B.B. ve Katkat, A.V., 2004. Araştırma ve Deneme Metodları (II. Baskı). Atatürk Üni. Yayınları No: 697, Zir. Fak. No: 305, Ders Kitapları Serisi, 57, Erzurum.
- Atchley, S.H. and Clark, J.B. 1979. Variability of temperature, pH, and moisture in aerobic composting process, *Applied Environmental Microbiology*, 38, 1040-1044.
- Ayuso, M., Hernandez, T., Garcia, C. and Costa, F. 1992. Utilización de un lodo aerobio como sustituto de fertilizantes fosforados inorgánicos. *Suelo y Planta* .2, 271-280.
- Bååth, E. 1989, Effects of Heavy Metals in Soil on Microbial Processes and Populations (a review). *Water Air Soil Pollut.*, 47, 335-379.
- Bååth, E., Arnebrandt, K., Nordgren, A. 1991. Microbial biomass and ATP in smelter-polluted forest humus. *Bull Environ Contam Toxicol* 47, 278-282.
- Bălan, A., Jităreanu, G., Galeş, D.C., Răus, L., Öztan, S. Felix-Henningsen, P. and Ailincăi, C. 2010. Influence of some organic residues on wheat and maize yield and eroded soil fertility. *Cercetări Agronomice în Moldova*. XLIII(1), 141.
- Balík, J., D. Pavlíková, V. V, Kulháněk, M., Kotková, B. 2007. The influence of long-term sewage sludge application on the activity of phosphatases in the rhizosphere of plants. *PLANT SOIL ENVIRON*, 53 (9), 375-381.

- Balzer, W. and Ahrens, E. 1990. The effects of long-term sewage sludge application on the microbial activity in a silty loam. *Verbond-Deutscher- Landwirtschaflicher-Untersuc- Hangs und Forschungsanstalter- Reihe Kongressberichte*, 30, 487-497.
- Balzer, W. and E. Ahrens. 1990. The effect of long-term sewage sludge application on the microbial activity in a silty loam. *Reihe Kongressber. Verb. Dtsch. Landwirtsch. Unters. Forschungsans*, 30,479-484.
- Bandick, AK and Dick, RP .1999.Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol Biochem*, 31, 1471–1479.
- Banerjee, M.R., Burton, D.L.and Depoe, S. 1997. Impact of sewage sludge application on soil biological characteristics. *Agric.Ecosyst. Environ*, 66, 241–249.
- Barbarick. K., Doxtader, K.G., Redente, E.F. and Brobst, R.B. 2004. Biosolids Effects on Microbial Activity in Scrubland and Grassland Soil. *Soil Science*, 169(3), 176-187.
- Barkay, T., Tripp, S.C.and Olson, B.H. 1985. Effect of metal rich sewage sludge application on the bacterial communities of grassland. *Appl. Environ. Microb.* 49, 333–337.
- Basta, N.T. and Tabatabai M.A. 1992. Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils. I. Single-metal adsorption. *Soil Sci.*, 153(2), 108-114.
- Bengtsson M and Tillman A-M.2004. Actors and interpretations in an environmental controversy: the Swedish debate on sewage sludge use in agriculture. *Resour Conserv Recycl*, 42, 65–82.
- Benitez, E., M. Romero, M. Gomez, F. Gallardolaro and R. Nogales.2001. Biosolid and biosolid ash as sources of heavy metals in plant-soil system. *Water, Air and Soil Pollution*, 132, 75-87.
- Benitez, E., Sainz, H. and Nogales, R. 2004. Hydrolytic enzyme activities of extracted humic substances during the vermicomposting of a lignocellulosic olive waste, *Bioresource Technology*, 96(7), 785-90.
- Bremner, J.M. 1965a. Total nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis Part 2*; (C.A. Black, Ed). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 1145-1178.
- Bremner, J.M. 1965b. Inorganic Forms of Nitrogen. In: *Methods of Soil Analysis*. Black, C.A. American Soc. of Agron. Inc. Publ. Madison, Wisconsin, USA, pp.1197-1287.
- Bergkvist, P., Jarvis,N., Berggren, Dan. and Carlgren ,K. 2003. Long-term effects of sewage sludge applications on soil properties, cadmium availability and

- distribution in arable soil Agriculture. Ecosystems & Environment, 97(1-3), 167-179.
- Berry, C.R. 1987. Use of Municipal Sewage Sludge for Improvement of Forest Sites in the Southeast Southeastern Forest Experiment Station Research PaperS E-26.
- Bidwell, A.M., and R.H. Dowdy. 1987. Cadmium and zinc availability to corn following termination of sewage sludge applications. J. Environ. Qual, 16,438-442.
- Bilgin N, H. Eyüpoğlu ve Üstün, H. 2002. Biyoatıkların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara, s. 28.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H., ve Tomul, F.2003. İkinci Kademe Arıtım Yapan Kentsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesislerinden Çıkan Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanılma Olanakları, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Bingham, F.T., Page, A.L., Mahler, R.J. and Ganje, T.J. 1975. Growth and cadmium accumulation of plants grown on a soil treated with cadmium-enriched sewage sludge. J. Environ. Qual, 4,207-211.
- Bozkurt, M. A., Yılmaz, İ. ve Çimrin, K. M. 2000. Kentsel arıtma çamurunun kışlık arpada azot kaynağı olarak kullanılması. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 7(1), 105-110.
- Bozkurt, M.A. ve Yarılgac, T. 2003. The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry conditions. Turkish J. Agric. For., 27,285-292.
- Brookes, P.C., 1995. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biol. Fert. Soils 19, 269-279.
- Çakmak, I., A.Yılmaz, M. Kalayci, H. Ekiz, B. Turun, B. Erenoğlu and H.J. Braun. 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. Plant Soil, 180, 165-172.
- Canbolat, M.Y. 1990. Iğdır yöresi topraklarında kaymak sertliği (kırılma değeri) ile ilgili araştırmalar. Atatürk Üni. Zir. Fak. Toprak İlmi Böl. Doktora Tezi (Yayınlanmamış).
- Cardon, Z.G., 1996. Influence of rhizodepositions under elevated CO₂ on plant nutrition and soil organic matter. Plant and Soil 187, 277-288.
- Cavallaro, N., Padilla, N. and Villaruda, J. 1993. Sewage effects on chemical properties of acid soils. Soil Sci., Baltimore, 156 (2), 63-70.

- Chae, Y.M. and Tabatabai, M.A., 1986, Mineralization of Nitrogen in Soils Amended with Organic Wastes. *J. Environ. Qual.*, 15, 193- 198.
- Chander, K., P. C. Brookes and S. A. Harding. 1995. Microbial biomass dynamics following addition of metal-enriched sewage sludges to a sandy loam .*Soil Biology and Biochemistry*. 27, 1409-1421.
- Chander, K. and Brookes, P.C. 1991a. Is the dehydrogenase assay invalid as a method to estimate microbial activity in copper-contaminated soils? *Soil Biology & Biochemistry*, 23, 909–915.
- Chander, K. and Brookes, P.C., 1991b. Effects of heavy metals from past applications of sewage sludge on microbial biomass and organic matter accumulation in a sandy loam and a silty loam UK soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 23, 927–932.
- Chander, K. and Brookes, P.C., 1993. Residual effects of zinc, copper and nickel in sewage sludge on microbial biomass in a sandy loam. *Soil Biology and Biochemistry*, 25, 1231-1239.
- Chaney, R.L., Li, Y.M., Angle, J.S., Baker, A.J.M., Reeves, R.D., Brown, S.L., Homer F.A., Malik, M. and Chin, M. 1999. Improving metal hyperaccumulators wild plants to develop commercial phytoextraction systems: Approaches and progress, *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water*, N Terry, G.S Banuelos. CRC Pres Boca Raton, FL.
- Chang, A.C., Page, A.L. and Bingham, F.T. 1982. Heavy metal absorption by winter wheat following termination of cropland sludge applications. *J. Environ. Qual*, 11, 705-708.
- Chang, A.C., Pan, G., Page, A.L. and Asano, T., 2002, Developing human health related chemical guidelines for reclaimed water and sewage sludge applications in agriculture, WHO. (<http://www.envisci.ucr.edu/downloads/chang>).
- Chapman, H.D. 1965. Methods of soil analysis Part 2. Chemical microbiological properties. Ed. C.A. Black., Amer. Soc. of Agron. Inc. Publ. Agron. Series no: 9, Madison, Wisconsin, USA.
- Chaudri, A. M., Celine M. G., Alain, S. H., Badawy M. L., Adams S. P., Mc Grath, P., and Chambers, J. B. 2001. Cadmium content of wheat grain a long-term field experiment with sewage sludge. *J Environmental Quality*, 30 (5), 1575-1580.
- Cheng, H., Xu, W., Liu, J., Zhao, Q., He, Y. and Chen, G., 2007. Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turfgrass growth. *Ecological Engineering*, 29, 96-104.
- Clarke, J. M., Leisic, D., De Pauw, R. M., and Thiessen, L. L. 1997. Registration of five pairs of durum wheat genetic stocks near-isogenetic for cadmium concentration *Crop Sci*, 37, 197.

- Cuci, Y., Hasar H., Yaman M. ve İpek U., 2001, Pollution in Keban Dam Lake: Trace metals from classical activated sludge systems, *Bull. Environ. Contamination and Toxicology*, 67, 906-912.
- Dağ, M. 2002.Evsel Nitelikli Atıksular İçin Arıtma Prosesleri, Çevre Mühendisliği Uygulamaları, ÇMO, Ankara,s. 63-74.
- Dahlin, S., E. Witter, A. Martensson, A. Turner, And E. Baath. 1997. Where's the limit?Changes in the microbiological properties of agricultural soils at low levels of metal contamination. *Soil Biol. Biochem*, 29, 1405-1425.
- Dar, G.H. 1996. Impact of Lead and Sewage Sludge on Soil Microbial Biomass and Carbon and Nitrogen Mineralization. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 58, 234-240.
- Davies, B.E. 1990. Lead; in: *Heavy Metals in Soils*, ed. B.J. Alloway. Blackie and Son Ltd., UK.
- Davis, R.D., 1984, Crop uptake metals (cadmium, lead, mercury, copper, nickel, zinc and chromium) and suludge-treated soil and its implications for soil fertility and for the human diet. In: P.L. Hermite and H. Ott (Eds), *Processing and Use of Sewage Sludge* Reidel, Dordrecht, pp. 349-357.
- Day, A. D., Solomon, M. A., Oilman, M. J., and Taylor,B. B.1989. High Rates of Sewage Sludge in Wheat Production.Forage and Grain: A College of Agriculture Report. Report no: 370079. Series P-79.
- Delibacak, S., Okur, B., Ongun, A.R. 2009a. Influence of treated sewage sludge applications on temporal variations of plant nutrients and heavy metals in a Typic Xerofluvent soil. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 83, 249-257.
- Delibacak, S., Okur, B.and Ongun, A.R. 2009b. Effects of treated sewage sludge levels on temporal variations of some soil properties of a Typic Xerofluvent soil in Menemen Plain, Western Anatolia, Turkey. *Environ Monit Assess*, 148, 85-95.
- Demir, E.And Çimrin, K. M.2011. Arıtma çamuru ve humik asit uygulamalarının mısırın gelişimi, besin elementi ve ağır metal içerikleri ile bazı toprak özelliklerine etkileri.*journal of agricultural sciences*, 17, 204-216.
- Diagnosis And Improvement of Saline and Alkali Soils. United States Salinity Laboratory Staff, *Agriculture Handbook No: 60*, Washington, D.C.
- Dick, R.P. 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J.W., et al. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA Special Publication No. 35. American Society of Agronomy, pp. 107–124.

- Dick, W.A. ve Tabatabai, M.A. 1993. Significance and potential uses of soil enzymes. In: F. Blaine (Editor), Soil Microbial Ecology. Application in Agricultural and Environmental Management, Marcel Dekker, New York, pp. 95-127.
- Dilly, O., Munch, J.C., 1998. Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils. Biol. Fert. Soils 27, 374–379.
- Dinç. U., Kapur, S., şenol, S., cangir, C., altınbaş, Ü. Durak, A., Kahraman, C., Çullu, M. A., Aksoy, E., Öztürk, N., Kurucu, Y., Gündoğan, R., Kılıç, K., Öztekin, E., Dingil, M., Akça, E., Çelik, İ., Kılıç, Ş., Ölmez, A., Karadeniz, S., Vural, H., Ergün, H., Bolca, M. ve Dengiz, O. 1998. Polatlı Tarım İşletmesi Topraklarının Detaylı Toprak Etüt ve Haritalanması. Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü. 25.
- Dindar, E., Topaç Şağban, O., Başkaya, H.S. 2010. Stabilize arıtma çamurlarının topraktaki azot ve üreaz aktivitesine etkileri. İTÜ dergisi: su kirlenmesi kontrolü, 20(1), 29-38.
- EC. 2001. Commission Regulation (EC) 466/2001. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Communities, pp77.
- Eivazi, F. And A. Zakaria, 1993. β -Glucosidase activity in soils amended with sewage sludge. Agriculture, Ecosystems and Environment, 43, 155-161.
- Eivazi, F. And Tabatabai, M.A. 1977. Phosphatases in soils. Soil Biology and Biochemistry, 9, 167-172.
- Epstein, E. 2002. Land application of sewage sludge and biosolids. Lewis Publishers. pp.216, Washington.
- Epstein, E. 1975. Effect of sewage sludge on some soil physical properties. Journal of Environmental Quality, 4 (1), 139-142.
- Epstein, E. 2003. Land Application of Biosolids: A Prospective. Land Application of Sewage sludge and Biosolids. Lewis Publishers.
- Epstein, E., Keane and D.B. and Meisinger, J.J. 1978. Mineralization of nitrogen from sewage sludge and sludge compost. J. Environ. Qual., 7, 217-221.
- Epstein, E., Taylor, J.M. and Chaney, R.L. 1976. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil and some soil physical and chemical properties. J. Environ. Qual., 5, 422-426.
- Evans, K.J., Mitchell, I.G., and Salau, B. 1979. Heavy Metal Accumulation in Soils Irrigated By Sewage and Effect in the Plant-Animal System. Progressive Water Technology. Pergamon Press, 11(4/5), 339-352.

- Anonymous. 1990. Micronutrient Assessment at the Country Level: An International Study. FAO Soils Bulletin, Rome. pp.208.
- Anonymous. 1993. Report of the 8th session of the Codex Committee on cereals, pulses and legumes held in Washington D.C., pp. 26-30 .
- Fernandes, S.A.P. , Bettiol, W. and Cerri, C.C. 2005. Effect of sewage sludge on microbial biomass, basal respiration, metabolic quotient and soil enzymatic activity. *Applied Soil Ecology*, 30 (1), 65–77.
- Filcheva, E., Cheshire, M.V., Campbell, C.D. and McPhail, D.B. 1996. Effect of heavy metal contamination on the rate of decomposition of sewage sludge and microbial activity. *Applied Geochemistry*, 11(3), 331-333.
- Fliessbach, A., Martens, R., Reber, H.H. and Hopper, H.H. 1994. Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge. *Soil Biology & Biochemistry*, 26(9), 1201-1205.
- Fresquez, P. R. Francis, R. E. Dennis, G. L. 1990. Sewage sludge effects on soil and plant quality in a degraded, semiarid grassland, 19 (2), 324-329.
- Freytag, J. 1986. Bestimmung von Transferfaktoren Boden/Pflanze einiger Elemente und Untersuchungen u"ber deren Abh"ngigkeit von ausgew"hlten Bodeneigenschaften. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten*, 1, 43–51.
- Fuji R, Corey RB. 1986. Estimation of isotopically exchangeable cadmium and zinc in soils. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 306–308.
- Furrer, O.J., Gupta, S.K. and Stauffer, W. 1984. Sludge as a source of phosphorus and consequences of phosphorus accumulation in soils. In: *Processing and use of sewage sludge. Proceedings of the Third International Symposium held at Brighton, 1983*, L'Hermite P. (Ed.), Reidel Publishing Co. Dordrecht, pp.279-294.
- Fytili, D. and A. Zabaniotou. 2008. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods-a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 116–140.
- Garcia, C., Hernandez, T., Costa, F., Ceccanti, B. And Masciandara, G. 1993. Kinetics of phosphatase activity in organic wastes. *Soil biology and biochemistry*, 25(5), 561-565.
- García-Gil, J.C., Plaza, C., Soler-Rovira, P., Polo, A., 2000. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 1907–1913.

- Gascó, G. and Lobo, M.C. 2007. Composition of a Spanish sewage sludge and effects on treated soil and olive trees. *Waste Management*, 27, 1494-1500.
- Gençtan, T. ve N.Sağlam. 1987. Ekim zamanı ve ekim sıklığının üç ekmeklik buğday çeşidinde verim ve verim unsurlarına etkisi. *Türkiye Tahıl Sempozyumu, Bildiriler*:171-182 6-9 Ekim, Bursa.
- Gezinci İ.2001.Ağır Metal (Hg^{++} , Cu^{++} , Cd^{++} , Pb^{++}) Hormon Etkileşiminin Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Tohumlarının Çimlenmesi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üni. Fen Bil. Ens. Biyoloji Anabilim Dalı, Elazığ.
- Giusquiani, P.L., Pagliai, M., Gigliotti, G., Businelli, D.and Benetti, A.1995. Urban waste compost: effects of physical, chemical and biochemical soil properties. *J. Environ. Qual*, 24, 175–182.
- Glauser, R., Doner, H.E. and Paul, E.A., 1988. Soil aggregate stability as a function of particle size in sludge-treated soils. *Soil Science*, 146 (1), 37-42.
- Göçmez,S. 2006. Menemen Ovası Topraklarında İZSU Kentsel Arıtma Çamuru Uygulamalarının Mikrobiyal Aktivite ve Biyomas ile Bazı Fiziksel ve Kimyasal Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi” Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gondek, K., Koncewicz-Baran,M. 2011. Manganese Content in Biomass of Spring Wheat, Soil, and Soil Effluents after Fertilization with Municipal Sewage Sludge and Compost of Municipal Wastes .*J. Environ. Stud*, 20(6), 1481-1489.
- Gondek, K., Kopec,M., Glab,T.2012. The Contents of Microelements and Exogenous Amino Acids in Spring Wheat (*Triticum aestivum* L.) Grain after Municipal Sewage Sludge Fertilization.*Journal of Agricultural Science*, 4(12), 294.
- Gondek,K., Elem,J. 2012. Effect of fertilization with farmyard manure, municipal sewage sludge and compost from biodegradable waste on yield and mineral composition of spring wheat grain.*Journal of Elementology*, 17 (2), 231-245.
- Goyal,S., Walia,M., Gera, R., Kapoor, K.K., Kundu, B.S.2008. Impact of sewage sludge application on soil microbial biomass, microbial processes and plant growth- a review. *Agric. Rev*, 29 (1), 1 – 10.
- Göksu N., Işık Y., Atçeken T., Ojur O., Tongarlık, Ş. 2008. Arıtma çamuru uygulamasının buğdayın verim ve potansiyel toksik element kapsamı üzerine etkileri, *Ülkesel Tahıl Sempozyumu, Bildiriler*: 552-561, 2-5 Haziran 2008, Konya.
- Grant, C.A., Buckley, W.T., Bailey, L.D., and Selles, F. 1998. Cadmium accumulation in crops. *Can. J. Plant Sci.*, 78, 1-17.

- Guidi, G. and Hall, J.E.1983. Effects of sewage sludge on the physical and chemical properties of soils. Third International Symposium on Processing and Use of Sewage Sludge, pp.1-11.
- Guidi, G., Pagliai, M. and Giachetti, M.1981. Modifications of some physical and chemical soil properties following sludge and compost applications. D. Reidel Publishing Company,pp.122-130.
- Gupta, A. K.and Sinha, S. 2006.Chemical Fractionation and Heavy Metal Accumulation in The Plant of *Sesamum indicum* (L.) Var. T55 Grown on Soil Amended with Tannery Sludge: Selection of Single Extractants, *Chemosphere*, 64, 161-173.
- Gupta, S. and Hani, H. 1979. Estimation of available phosphate content of sewage sludges. In: reatment and use of sewage sludge. Proceedings of the first European Symposium held in Cadarache, 1979. Alexandre, D. and Ott, h. (Ed.),pp. 261-268.
- Haan,S. de. 1975. Land Application of Liquid Municipal Wastewater Sludges. *Journal (Water Pollution Control Federation*, 47 (11), 2707-2710.
- Hanay, A.and Yardımcı, N.1992. Çöp kompostu ve ahır gübresinin toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile toprak-su ilişkilerine etkileri üzerine bir araştırma. *Doğa-Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 16, 91-102.
- Hanay, A., Büyüksönmez, F., Kızıloglu, F.M. And Canbolat, M.Y.2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. *Compost Science & Utilization*, 12 (2), 175-179.
- Hargreaves, J.C., Adl M.S.and Warman P.R.2008 .A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123,1-14.
- Haris, N.S.and Taylor, G.J. 2001. Remobilization of cadmium in maturing shoots of near isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium accumulation. *Journal of Experimental Botany*, 52(360), 1473-1481.
- Harris, M.A. and Megharaj, M. 2001. The effects of sludge and green manure on hydraulic conductivity and aggregation in pyritic mine tailings materials. *Environmental Geology*, 41,285-296.
- Hart, J.J., Welch, R.M., Norvell, W.A., and Kochian, L.V. 2002. Transport interactions between cadmium and zinc in roots of bread and durum wheat seedlings. *Physiologia Plantarum*, 116(1): 73-78.
- Hassen,A.,Jedidi,N.,Chérif,M.,M'hiri,A.,Boudabous,A.andVan.C.,O.1998. Mineralization of nitrogen in a clayey loamy soil amended with organic waste residues enriched with Zn, Cu and Cd.*Bioresource Technol.*, 64,39–45.

- Hati, K.M., Biswas, A.K., Bandyopadhyay, K.K. and Misra, A.K. 2007. Soil properties and crop yields on a vertisol in India with application of distillery effluent. *Soil & Tillage Research*, 92, 60-68.
- Hernández, M. T., J. I. Moreno, F. Costa, F. J. González-Vila, and R. Fründ. 1990. Structural features of humic acid like substances from sewage sludges. *Soil Science*, 149(2): 63–68.
- Hernandez, T., Moreno, J.I. and Costa, F. 1991. Influence of sewage sludge application on crop yields and heavy metal availability. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37: 201–210.
- Hernández, F., Gonzalez, N. M., Olguin, M. L., Ceron, F. E., Silva, E. E., and Dendooven, L. 2003. Dynamics of carbon nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated pasteurized and limed sludge, *Bioresour Technol*, 87, 93–102.
- Hernández-Apaolaza, L., Gascó, A.M., Gascó, J.M. and Guerrero, F. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresour Technol*, 96 (1): 125-131.
- Hinesly, T.D., Jones, R.L., Ziegler, E.L., and Tyler, J.J. 1977. Effects of Annual and Accumulative Applications of Sewage Sludge on Assimilation of Zinc and Cadmium by Corn *Zea mays* L., *Environ. Sci. Technol.*, 11, 182-188.
- Hinesly, T.D., Ziegler, E.L., and Barret, G.L. 1979. Residual effects of irrigating corn with digested sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 8, 35-38.
- Holz, S.C., Ingelmo, F. and Canet, R. 2000. Long term effects of the application of sewage sludge and vegetal cover on some physical and physicochemical properties of a degraded arid soil. *Agrochimica*, 44, 133-139.
- Hornick, S.B., Parr and J.F. 1987. Restoring the productivity of marginal soils with organic amendments. *American Journal of Alternative Agriculture*, 2 (2), 64-68.
- Hornick, S.B., Sikora, L.J. and Sterret, S.B. 1984. Utilization of sewage sludge compost as a soil conditioner and fertilizer for plant growth. U.S. Department of Agriculture, *Agriculture Information Bulletin*, 464, 32.
- Hough, R.L., Young, S.D. and Crout, N.M.J. 2003. Modelling of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn uptake, by winter wheat and forage maize, from a sewage disposal farm. *Soil Use and Management*, 19, 19-27.
- Hussein K. A., Hassan A. F., E.S. Abdel-Hady. 2010. Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. *Agriculture and biology J. of North America*. 1(5): 1044-1049.

- Ian C. Anderson, Pamela I. Parkin, Colin D. Campbell. 2008. DNA- and RNA-derived assessments of fungal community composition in soil amended with sewage sludge rich in cadmium, copper and zinc. *Soil Biology and Biochemistry*, 40 (9), 2358–2365.
- Ingelmo, F., Canet, R., Ibañez, M.A., Pomares, F. and Garcíai J. 1998. Use of msw compost, dried sewage sludge and other wastes as partial substitutes for peat and soil. *Bioresource Technology*, 63, 123-129.
- Insam H., Mitchell C. C. and Dormaar J. F. 1991. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilisation practice and crop yields of three ultisols. *Soil Biology & Biochemistry* 23, 459-464.
- Ionescu, N., Mujea, G., Diaconu, M., Iordănescu, Ana. and Minca, G. 2008. The effect of sewage sludge doses on manganese content in the ecosystem luvisol and field crops. *Romanian agricultural research*. <http://incdofundulea.ro/rar/nr25/rar25.12.pdf>.
- Ippolito, J.A., K.A. Barbarick, D.G. Westfall, R.H. Follett, and R. Jepson. 1992. Application of anaerobically digested sewage sludge to dryland winter wheat. *Colorado Agric. Exp. Stn. TR.92-5*.
- ISO/DIS. 1994. 11466. Soil quality-Extraction of trace metals soluble in aqua regia: ISO/Tc 190/SC3.
- ISO/DIS. 1995. 11047. Soil quality-determination of cadmium, chromium, cobalt, copper, lead, manganese, nickel and zinc flame and electrothermal atomic absorption spectrometric methods.
- İşgenç, F. ve Tokat, E. 2005. Çiğli Atıksu Arıtma Tesisi Çamur İşleme ve Bertaraf Uygulamaları, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, AÇS 2005 23-25 Mart, İzmir.
- İşgenç, M.F., Kınay, E.H. 2005. TÜRKİYE’DE ARITMA ÇAMURLARI. TMMOB Çevre Mühendisleri Odası İzmir Şubesi.
- Işık, Y., Tongarlık, Ş. ve Göksu, N. 2005. Organik ve İnorganik Kaynaklı Ağır Metallerin Toprak Kirliliği ve Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü, Yayın No: KHGM-99330F01.
- Jackson, M.L. 1962. *Soil chemical analysis*. Prentice Hall Inc. Eng. Cliffs., U.S.A.
- Jahnel, M.C. 1997. Método de plaqueamento por gotas e outros parâmetros microbiológicos na avaliação da degradação de lodo ativado de curtume em solos. Ph.D. Thesis. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil, 79.

- Jamil, I M., Qasim, M., Umar, M. and Rehman, K. 2004. Impact of Organic Wastes (Sewage Sludge) on the Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in a Calcareous Soil. International journal of agriculture & biology. Int. J. Agri. Biol., 6(3): 465–467.
- Jarauschk-Wehrheim, B., Mocquot, B. and Mench, M. 1999. Absorption and translocation of sludge-borne zinc in field-grown maize (*Zea mays* L.). European Journal of Agronomy, 11(1): 23-33.
- Jezierska-Tys, S. and Frąc, M. 2008. Effect of sewage sludge on selected microbiological and biochemical indices of soil fertility in view of domestic and world wide studies: a review Acta Agrophysica, 12(2), 393-407.
- John, M.K. 1972. Lead contamination of some agricultural soils in western Canada. Environ. Science Technol, 5, 1199-1203.
- Johnson, C.M., and Ulrich, A. 1959. Analytical methods for use in plant analysis. II. California Agri. Exp. Sta. Bull, 766.
- Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Codex Alimentarius Commission, 20th Session, Geneva 28 June- 7 July 1993. 3.
- Jordão, C.P., Cecon, P.R. and Pereira, J.L. 2003. Evaluation of metal concentrations in edible vegetables grown in compost amended soil. Int. J. Environ. Stud, 60, 547–562.
- Justice, J. K. and Smith, R. L. 1962. Nitrification of Ammonium Sulfate in a Calcareous Soil as Influenced by Combinations of Moisture, Temperature, and Levels of Added Nitrogen. Soil Science Society of America Journal, 26 (3), 246-250.
- K. M. Lai, Ye, D. Y. and Wong, J. W. C. 1999. Enzyme activities in a sandy soil amended with sewage sludge and coal fly ash. water, Air, and Soil Pollution, 113, 261–272.
- Kabata Pendias, A. and Pendias, H. 1992. Trace Elements in Soils and Plants. 2nd edition, CRC Press, Baton Rouge, Fa.
- Kabata Pendias, G., Terelak, H. and Pietruch, C. 2001. Impact of soil factors on Zn and Cd contents in potato tubers. Proceedings of 6th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements, pp. 568. Guelph, Canada.
- Karaca, A. 2004. Effect of organic wastes on the extractability of cadmium, copper, nickel and zinc in soil. Geoderma an International J. of Soil Science (Special Issue), 122, 297-303.
- Karaca, A. ve Haktanir, K. 2000. Arıtma Çamurlarının Toprakta Alınabilir Kurşun ve Dehidrogenaz Enzim Aktivitesi Üzerine Etkileri . Tarım bilimleri dergisi, 6 (3), 13-19.

- Karaca,A., Naseby ,D.C.and Lynch, J. M. 2002. Effect of cadmium contamination with sewage sludge and phosphate fertiliser amendments on soil enzyme activities, microbial structure and available cadmium. *Biol Fertil Soils*, 35,428–434.
- Karakaplan, S.1982. Malatya’da kanalizasyon suyu ile sulanan toprakların kimyasal özelliklerindeki değişmeler. *Atatürk Üni. Zir. Fak. Dergisi*, 13 (1-2), 69-77.
- Karami,M., Afyuni,M., Rezainejad,Y.and Schulin,R. 2009. Heavy metal uptake by wheat from a sewage sludge-amended calcareous soil. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 83, 51–61.
- Kelling, K.A., Peterson, A.E. and Walsh, L.M. 1977. Effect of wastewater sludge on soil moisture relationships and surface runoff. *Journal Water Pollution Control Federation*, 1698-1703.
- Keskin, B., Bozkurt, M. A.and Akdeniz, H. 2010. The Effects of Sewage Sludge and Nitrogen Fertilizer Application on Nutrient and Heavy Metal Concentration of Soil and Smooth Brome grass (*Bromus inermis* Leyss.). *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9(5), 896-902.
- Khaalel, R., Reddy, K.R. and Overcash, M.R., 1981. Changes in soil physical properties due to organic waste applications: a review. *J. Environ. Qual.*, 10 (2), 133-141.
- Khan, M. A .Kazi, T.G., Ansari, R., Mujtaba,S.M. Khanzada, B., Khan,M.A., Shirazi ,M.U. and Mumtaz, S. 2007. Effects of un-treated sewage sludge on wheat yield, metal uptake by grain and accumulation in the soil. *Pak. J. Bot.*, 39(7), 2511-2517.
- Khan, M. J. 2011. Impact of Selected Doses of Organic Wastes on Physico-Chemical Characteristics of the Soil and Yield of Wheat .2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications.
- Khan, M. and Scullion, Y. 2000. Effect of Soil on Microbial Responses to Metal Contamination. *Environ. Pollut.* 110, 115-125.
- Khan, M. and Scullion, Y. 2002. Effects of Metal (Cd, Cu, Ni, Pb or Zn) Enrichment of Sewage Sludge on Soil Microorganisms and their activities. *Applied Soil Ecology*, 20(2), 145-155.
- Khan,M.A., Kazi, T.G., Ansari,R., Mujtaba ,S.M., Khanzada,B., Khan, M.A., Shirazi, m.u. and Mumtaz Pak, S.J. 2007. Effects of un-treated sewage sludge on wheat yield, metal uptake by grain and accumulation in the soil. *Pak. J. Bot.*, 39(7), 2511-2517.
- King,L.D and H. D. Morris.1972. Land Disposal of Liquid Sewage Sludge: II. The Effect on Soil pH, Manganese, Zinc, and Growth and Chemical Composition of Rye (*Secale cereale* L.), 1,425-429.

- Kırımhan, S., Sağlam, M. T. and Karakaplan S. 1983. Erzurum’da kentsel atık sular ile sulanan tarım topraklarında kimyasal kirlenme: II. toprakta ve bitkide ağır metal birikimi. Atatürk Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 14 (3-4), 13-23.
- Kırımhan, S., Sağlam, M.T. ve Karakaplan, S., 1982. Erzurum’da kentsel atıksular ile sulanan tarım topraklarında kimyasal kirlenme. Atatürk Üni. Zir. Fak. Dergisi, 13 (3-4), 123-133.
- Kırtok, Y., İ. Genç, M. Çölkesen, ICARDA, 1987. Kökenli bazı Arpa çeşitlerinin Çukurova koşullarında başlıca tarımsal karakterleri üzerinde araştırmalar. Türkiye Tahıl Sempozyumu. TOAG 6-7Ekim, Bursa, 83-89s.
- Kızılkaya, R. 2010. Fındık zurufu ve ahır gübresi ile kompostlanmış arıtma çamurunun buğday bitkisinin verim ve toksik metal kapsamına etkisinin belirlenmesi, I.Ulusal Toprak ve Su Kaynakları Kongresi. 1-4 Haziran 2010, Eskişehir.
- Kızılkaya, R. and Bayraklı, F. 2005. Effect of niştrogen enriched a sewage sludge on soil enzyme activities. Applied soil ecology, 30, 192-202.
- Kloke A., Sauerbeck D. R. and Vetter H. 1993. The contamination of plants and soils with heavy metals and the transport of metals in terrsetial food chains. in: Nriagu, J.O. (ed.) Changing Metal Cycles and Human Health. Springer Verlag Berlin, pp. 113-141.
- Knight, B.P., McGrath, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F. and Schuman, G.E. 1997. Biomass Carbon Measurement and Substrate Utilization Patterns of Microbial Populations From Soils Amended with Cadmium, Copper or Zinc, Appl. Environ, Microb, 63, 39-43.
- Kocaer, F. O. and Başkaya H. S. 2003. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 8, Sayı 1.
- Kocaer, F.O. ve Şahinkaya, H.S. 2001. Arıtma Çamurlarının Araziye Uygulanabilirliği Kapsamında Bitkiye Yarayışlı Azot, Fosfor ve Potasyum Seviyeleri. UKAK 2001- Ulusal Katı Atık Kongresi, Arıtma Çamurları, 18-21 Nisan, İzmir.
- Köleli, N. 1998. Değişik tahıl türlerinin ve buğday çeşitlerinin kadmiyum toksisitesine duyarlılığı ve buna çinko eksikliğinin etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Adana.
- Koleli, N., Çakmak, Ö., İşler, F., and Çakmak, I. 1998. The effects of zinc nutrition on cadmium toxicity in different cereal species. I. National Zinc Congress (Agriculture, Food and Health), 491-500.
- Korkmaz A. ve Kızılkaya R., 1998, Çevresel toprak sorunları ve gübrelerin çevre kirliliğine etkisi, O.M.Ü Ziraat Fak. Dergisi, 13(1), 147-164.

- Küçükhemek, M.,Gür, K.ve Uyanöz,R.2008. Toprağa uygulanan arıtma çamuru, ahır gübresi ve karışımlarının, çim bitkisinin bazı makro-mikro besin elementleri ve verimi üzerine etkisi. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22(45), 97-108.
- Kunito,T.,Saeki,K.,Goto,S.,Hayashi,H.,Oyaizu,H. and Matsumoto,S.2001.Cooper and Zinc Fractions Affecting Microorganisms in long-term Sludge amended Soils,Bioresource Technology, (79), 135-146.
- Kün, E. 1988. Serin İklim Tahılları, Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 1032, Ders Kitabı No: 299, Ankara.
- Kün, E. 1996. Tahıllar-I (Serin İklim Tahılları). Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları, Yayın No:1451, Ankara.
- Kütük, A.C., G. Çaycı ve A. Baran. 1995. Çay atıklarının bitki yetiştirme ortamı olarak kullanılabilme olanakları. Ankara Üniv. Zir. Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 1(1), 35-40.
- Lakhdar, A., Iannelli , M. A., Debez, A., Massacci, A., Jedidi, N and Abdelly, Chedly. 2010. Effect of municipal solid waste compost and sewage sludge use on wheat (*Triticum durum*): growth, heavy metal accumulation, and antioxidant activity. J Sci Food Agric, 90(6), 965-71.
- Lakhdar,A., Scelza, R., Achiba,W., Scotti,R., Rao,M. A., Jedidi,N., Abdelly,C. and Gianfreda, L. 2011. Effect of Municipal Solid Waste Compost and Sewage Sludge on Enzymatic Activities and Wheat Yield in a Clayey-Loamy Soil. Soil Science, 176 (1), 15-21.
- Lassoued,N. , Bılal,E. , Rejeb,M. N.and Rejeb,S. 2012. Impact of heavy metals in sewage sludge on soil and plants (COLZA and WHEAT).Romanian Journal of Mineral Deposits, 85(2), 45-48.
- Laternus, R., von Arnold, K. and Grøn, C. 2007. Organic Contaminants from Sewage Sludge Applied to Agricultural Soils. Env. Sci. Pollut. Res., 14, Special Issue, 1, 53-60.
- Lee, S.B., Na, Y.E., Koh, M.H., Kwon, S.L., Seong, K.S. and Eom, K.C. 2002. Dynamics of Organisms and Activities of Enzymes in Agricultural Soils of Korea. 17th WCSS Symposium. Thailand, 14-21 August 2002,pp.1928-8.
- Leita L, De Nobili M, Mondini C, Muhlbachova G, Marchiol L,Bragato G, Conti, M. 1999. Influence of inorganic and organic fertilization on soil microbial biomass, metabolic quotient and heavy metal bioavailability. Biol Fertil Soils, 28,371–376.
- Leita,L., de Nobili,M., Muhlbachova, G., Mondini, C., Marchiol, L.and Zerbi,G. 1995. Bioavailability and effects of heavy metals on soil microbial biomass survival during laboratory incubation.Biol. Fertil. Soils, 19, 103–108.

- Lerch, R.N., Barbarick, K.A., Westfall, D.G., Follett, R.H., McBride, T.M., and Owen. W.F. 1990. Sustainable rates of sewage sludge for Dryland Winter Wheat production I. Soil nitrogen and heavy metals. *J. Prod. Agric. Nitrogen and Heavy Metals. J. Prod. Agr.*, 3(1), 60-65.
- Li, YH., Chaney, RL., Schnitzer, AA.1994. Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels. *Plant Soil*, 167,275–80.
- Lindsay, W.L., and Norwell, W.A. 1978. Development of a DTPA Soil Test. *Soil Science American Proceedings*, 35, 600-602.
- Little, D.A., R.B. Reneau Jr. and D.C. Martens, 1991. Lime stabilized and chemically fixed sewage sludge as lime amendments. *Bioresource Technology*, 37, 93-102.
- Liu, W.-T., Mino, T., Nakamura, K. & Matsuo, T. (1994). Role of glycogen in acetate uptake and polyhydroxyalkanoate synthesis in anaerobic–aerobic activated sludge with a minimized polyphosphate content. *J Ferment Biotechnol* 77, 535-540.
- Lixandru, G. 2005. Sewage sludge effects on potato, winter wheat and maize yield cultivated in rotation, and soil property modification. *Factori si Procese Pedogenetice din Zona Temperata / Soil Forming Factors from the Temperate Zone*, 4(1), 41-54.
- Lorenzi, S.L. and Lambais, M.R. 2001. Atividades microbianas e estrutura da comunidade de bacteria em solo argiloso contaminado com crômio. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Londrina, Paraná, Anais*, pp. 63.
- Magdoff, F.R. and Amadon, F.F. 1980. Nitrogen Availability from Sewage Sludge. *J. Environ. Qual.*, 9, 451-455.
- Mantovi, P., Baldoni, G. and Toderi, G. 2005. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water Research*, 39, 289-296.
- Marinari, S., Masciandora, G., Ceccanti, B., Grego, S. 2000. Influence Of Organic and Mineral Fertilisers On Soil Biological and Physical Properties. *Bioresource Technology*, 72, 9-17.
- Marschner, P., Kandeler, E. and Marschner, B. 2003. Structure and Function of the Soil Microbial Community in a Long-Term Fertilizer Experiment, *Soil Biology and Biochemistry*, 35(3), 453-461.
- Mc Grath, S.P., Zhao, F.J., and Dunham, S.J. 2000. Long- term changes in the extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. *J. Environ. Qual.*, 29, 875-883.

- McBride, M.B.1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are US EPA regulations protective? *J. Environ. Qual.*, 24, 5–18.
- McGrath, S.P., Zhao, F.J., Dunham, S.J., Crosland, A.R.and Coleman, K. 2000. Long-term changes in extractability and bioavailability of zinc and cadmium after sludge application. *Journal of Environmental Quality*, 29, 875–883.
- McGrath, S. P., Chang, A. C., Page, A. L. and Witter, E.1994. Land application of sewage sludge: scientific perspectives of heavy metal loading limits in Europe and the United States, 2(1), 108-118.
- McGrath, S.P.and Loveland, P.J. 1992. *The Soil Geochemical atlas of England and Wales*. Glasgow: Blackie Academic and Professional; UK.
- McGrath, SP., Brookes PC and Giller, KE .1988. Effects of potentially toxic metals in a long-term field experiment with sewage sludge. *Environ Pollut*, 60,235–256.
- McLaughlin, M.J., Palmer, L.T., Tiller, K.G., Beech, T.A.and Smart, M.K. 1994. Increased soil salinity causes elevated cadmium concentrations in field-grown potato tubers. *J Environ Qual.*, 23, 1013–8.
- McLaughlin, M.J.and Champion,L. 1987.Sewage sludge as a phosphorus amendment for sesquioxenic soils.*Soil Science*, 143 ,113–119.
- Melo, W.J., M.O., Marques, G., Santiago, R.A.and Chelli and Leite, S.A.S. 1994. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre fracos da materia organica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-acucar. *Rev. Bras.Cienc. Solo*, 18,449–455.
- Mench, M., Baize, D.and Mocquot, B. 1997. Cadmium availability to wheat in five soil series from the Yonne district, Burgundy, France. *Environ Pollut*, 95, 93–103.
- Menelik, G., Renau, R.B., Martens, D.C. ve Simpson, T.W. 1991. Yield and elemental composition wheat grain as influenced by source and rate of nitrogen. *Journal of Plant Nutrition*, 14 (2), 205-217.
- Mora, A. P., Ortega-Calvo, J.J., Cabrera F. And Madejon E. 2005.Changes in Enzyme Activities and Microbial Biomass After “in situ” Remediation of a Heavy Metal Contaminated Soil. *Applied Soil Ecology*, 28,125-137.
- Moral, R., Parades, C., Perez-Murcia, M.D., Perez-Espinoza, A. And Moreno–Caselles, J. 2005. Nitrogen Dynamics in a Calcic Petrocalcic Soil from the SE Spain Treated with an Anaerobic Sewage Sludge Compost. *Advences in Geoecology*, 39, 589-594.
- Morariu, F., Măsu, S., Dragomir, N., Rus, V.And Demetrovici, L. 2011. Stela Uruioc³, Dumitru Popescu¹, Adela Jurjescu. Indicator of Bioavailability of Heavy Metals

- in Phyto-Stabilized Processes of Fly Ash Deposits. *Animal Science and Biotechnologies*, 44 (1).
- Moreno, J.L., Garcia, C., Hernandez, T. and Ayuso, M. 1997. Application of composted sewage sludges contaminated with heavy metals to an agricultural soil. *Soil Sci Plant Nutr*, 43, 565–573.
- Moreno, J.L., Garcia, C., Hernandez, T. and Pascual, J.A. 1996. Transference of heavy metals from a calcareous soil amended with sewage-sludge compost to barley plants. *Bioresource Techn*, 55, 251-258.
- Nan, Z., Li, J., Zhang, J. and Cheng, G. 2002. Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *The Science of the Total Environment*, 285, 187-195.
- Nannipieri, P., 1994. The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R., Grace, P.R. (Eds.), *Soil Biota: Management and Sustainable Farming Systems*. CSIRO, Australia, 238–244.
- Narwal, R. P., Singh, B. R. and Panhwar, A. R. 1983. Plant availability of heavy metals in a sludge-treated soil: I. Effect of sewage sludge and soil pH on the yield and chemical composition of Rap. *Journal of Environmental Quality*, 12 (3), 358-365.
- Nguyen, H. (2005). Recycling sludge to produce fertilizer. *Currents*, 34-35.
- Naseby, D.C. ve Lynch J.M. 1997 Rhizosphere soil enzymes as indicators of perturbation caused by enzyme substrate addition and inoculation of a genetically modified strain of *Pseudomonas fluorescens* on wheat seed. *Soil Biology & Biochemistry*, 29, 1353-1362.
- Noordwijk, V., Schhonderbeek, M.D. and Kooistra, M. J. 1993. Root- Soil Contact of Grown Winter Wheat. *Geoderma*, 56, 277-286.
- O’Riordan, E. G., Dodd, V. A., Tunney, H. and Fleming G. A. 1987. The fertiliser nutrient value of activated sewage sludge under grassland field conditions. *Ir. J. Agric. Res*, 26, 213-229.
- Obbard, J.P, Sauerberck, D. and Jones, K.C. 1994. Dehydrogenase activity of the microbial biomass in soils from a field experiment amended with heavy metal contaminated sewage sludges. *Science of the Total Environment*, 142(3), 157-162.
- Öborn, I., Jansson, G. and Johnsson, L. 1995. A field study on the influence of soil pH on trace element levels in spring wheat (*Triticum aestivum*), potatoes (*Solanum*

- tuberosum) and carrots (*Daucus carota*). *Water, Air and Soil Pollution*, 85, 835-840.
- Ohya, J.P., Fujiwara, S., Komai, Y. and Yamaguchi, M. 1988. Microbial Biomass and Activity in Urban Soils Contaminated with Zn and Pb, *Biol. Fertil. Soils*, 6, 9-13.
- Ojeda, G., Alcañiz, J.M. and Ortiz, O.2003. Runoff and losses by erosion in soils amended with sewage sludge. *Land Degrad. Develop*, 14, 563-573.
- Okur, B. ve S. Delibacak. 1996. Prina, cibre, karasu ve çöp gübresi gibi doğal atıkların toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine etkileri. Tarım-Çevre İlişkileri Sempozyumu, “Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı” bildiri kitabı, 179-183, 13-15 Mayıs 1996, Mersin.
- Okur, N., Göçmez, S. and Tüzel, Y. 2006. Effect of Organic Manure Application and Solarization on Soil Microbial Biomass and Enzyme Activities Under Greenhouse Conditions. *Biological Agriculture and Horticulture*, 23, 305-320.
- Olsen, S.R., Cole, V., Watanabe, F.S., and Dean, L.B. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. of Agr., 939 Washington, D.C.
- Önal, M. K., Topcuoğlu, B. ve Arı, N. 2003.Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi II Gelişme ve Meyve Özellikleri İle Meyvede Mineral İçerikleri Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1),97-106.
- Ongun, A.R., Yağmur, B., Bozokalfa, K., Eşiyok, D. ve Okur, B. 2010. Effects of Municipal Waste Treatment Sludge Application on Heavy Metal Content of Sweet Corn and Soil.
- M.E. Aydın & A. Tor & S. Ozcan (Eds), International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium , Konya, 26-28 October 2010 (pp. 1303-1309).
- Özyazıcı, M.A. ve Özyazıcı, G. 2012. Arıtma Çamurunun Toprağın Bazı Temel Verimlilik Parametreleri Üzerine Etkileri. *Anadolu Tarım Bilim Derg*, 27(2), 101-109.
- Özyazıcı, M.A., Bayraklı, B., Özdemir, O., Özyazıcı, G. and Alpay, S. 2008. İkinci Kademe Arıtılmış Kentsel Nitelikli Atıksu Arıtma Tesisinden Elde Edilen arıtma çamurunun Bafra Ovası Tarımında Kullanılma Olanakları, Toprak ve Su Kaynakları SAMSUN Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, yayın no: TAGEM-BB-TOPRAKSU-2008/60. SAMSUN.

- Özyazıcı, M.A., Özyazıcı, G. ve Bayraklı, B. 2012. Arıtma Çamuru Uygulamalarının Toprağın Ekstrakte Edilebilir Demir, Bakır, Çinko ve Mangan Kapsamı Üzerine Etkileri. *Toprak Su Dergisi*, 1(2), 110-118.
- Pagliai, M. and Guidi, G.1979. Micromorphological determinations of soil porosity in field experiments with sewage sludge and compost. First European Symposium Treatment and Use of Sewage Sludge. 13-15 February 1979. Cadarache, Brussels, 309-315.
- Parr, J.F., Papendick, R.I. and Colacicco, D. 1986. Recycling of organic wastes for a sustainable agriculture. *Bio. Agri. and Hor*, 3,155-130.
- Pascual, I., Antolín, MC., García, C., Polo, A. and Sánchez-Díaz, M.2007. Effect of water deficit on microbial characteristics in soil amended with sewage sludge or inorganic fertilizer under laboratory conditions. *Bioresour Technol*, 98(1), 29-37.
- Pascual, I., Antolin, M.C.and Garcia, C. 2004. Plant Availability of Heavy Metals in A Soil Amended With A High Dose Of Sewage Sludge Under Drought Conditions. *Biol. Fertil Soils*, 40, 291-299.
- Pascual, J.A., Hernandez, T., Garcia, C.and Ayuso, M. 1998. Enzymatic activities in an arid soil amended with urban organic wastes: laboratory experiment. *Bioresource Technol*. 64, 131–138.
- Pascual, J.A., Garcí'a, C., Hernandez, T. Ayuso, M. 1997. Changes in the microbial activity of an arid soil amended with urban organic wastes. *Biol Fertil Soils* , 24:429–434.
- Pedrano, N. J.,Gomez, J., Moral, M.J.and Mataix, L. 1996. Improving the agricultural value of semiarid soil by addition of sewage sludge and Almond residue. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 58 (2-3), 1-6.
- Pinzari, F., Trinchera, A., Benedetti, A., Sequi, P. 1999. Use of biochemical indices in the Mediterranean environment: comparison among soil and different forest vegetation. *Journal od Microbiological Method*. 36:21-28.
- Polo, M. J., R. Ordonez, and J. V. Giraldez. 1999. Copper and zinc adsorption by sewage sludgetreated soil in Southern Spain. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 30,1063–1079.
- Puschenreiter,M., Schnepf, A., Millan, I.M., Fitz ,W.J., Horak, O., Klepp, J., Schrefl ,T., Lombi, E.and Wenzel ,W.W.2005. Changes in Ni biogeochemistry in the rhizosphere of the hyperaccumulator *Thlaspi goesingense* Plant and Soil, 271, 205–218.
- Quemada, M. and Menacho, E. 2001. Soil respiration 1 year after sewage sludge application. *Biol. Fertil. Soils*, 33, 344-346.

- Reddy, G.B. and A.Fazza. 1989. Dehydrogenase Activity in Sludge Amended Soil. *Soil Biol. Biochem.*, 21, 327-332.
- Rhyner, C.R., L.J. Schwartz, R.B. Wenger ve M.G. Kohrell. 1995. *Waste Management and Resource Recovery*. CRC Pres, Inc., Florida, USA. 199-361.
- Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils* (Agricultural Handbook No. 60). US Salinity Laboratory. USDA. Washington.
- Ross D.J., 1987. Microbial biomass estimated by the fumigation-incubation procedure, seasonal fluctuation and influence of soil moisture content, *Soil Biology and Biochemistry*, 19, 397-404.
- Ruggiero, P., Dec, J., Bollag, J-M . 1996. Soil as a Catalytic System. *Soil Biochemistry - Volume 9*, Marcell Dekker, New york, p. 79-122.
- Sahin, U., Angin, I., Kiziloglu, F. M. 2008. Effect of freezing and thawing processes on some physical properties of saline-sodic soils mixed with sewage sludge or fly ash Pages. *Soil and Tillage Research*, 99(2), 254-260.
- Sastre, I., Vicente, M.A. and Lobo, M.C. 2001. Behaviour of cadmium and nickel in a soil amended with sewage sludge. *Land Degrad. Develop.*, 12, 27-33.
- Sauerbeck, D.R. 1991. Plant, element and soil properties governing uptake and availability of heavy metals derived from sewage sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*, 57-58, 227-237.
- Schowaneck D., David H., Francaviglia R., Hall J., Kirchmann H., Krogh P. H., Schraepen N., Smith S. and Wildemann T. 2007 Probabilistic risk assessment for linear alkylbenzene sulfonate (LAS) in sewage sludge used on agricultural soil. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 49, 245-259.
- Schowaneck, D., Carr, R., David, H., Douben, P., Hall, J., Kirchmann, H., Patria, L., Sequi, P., Smith, S. And Webb, S. 2004. A risk-based methodology for deriving quality standards for organic contaminants in sewage sludge for use in agriculture –conceptual Framework. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 40 (3), 227-251.
- Selivanovskaya, S.Y., Latypova, V.Z., Kiyamova, S.N. And Alimova, F.K. 2001. Use of microbial parameters to access treatment methods of municipal sewage sludge applied to grey forest soils of Tatarstan. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 86, 145-153.
- Shahen, S.M. Shams, S., Elbehiry, F.A. and Ibrahim, S.M. 2010. Influence of Stabilized Biosolids Application on Availability of Phosphorus, Copper, and Zinc. *Applied and Environmental Soil Sci.* ISSN 1687-7667, 2012.

- Shiralipour, A. and Epstein, E. 1996. Compost effect on cotton growth and yield. Composting in the Carolinas Conference, Clemson, South Carolina. 23-25 October 1996. 108-115.
- Sims, J. T. 1990. Nitrogen mineralization and elemental availability in soil amended with composed sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 19, 269-275.
- Singh, S. and Sinha, S. 2004. Morphoanatomical response of two varieties of brassica juncea (L.)czern grown on tannery sludge amended soil', *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 72:1017–1024.
- Smernik, R. J. , Oliver, I.W., and McLaughlin, M. J. 2004.Changes in the nature of sewage Sludge organic matter during a twenty-one-month incubation.*Journal of Environmental Quality*, 33(5), 1924-1929.
- Smith, M.T.and Cade-Menun, B. J. 2006. Soil Phosphorus Dynamics and Phytoavailability From Sewage Sludge at Different Stages in A Treatment Stream, *Biol Fretil Soils*, 42, 186-197.
- Smolders, 2001. Cadmium uptake by plants. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 14(2), 177—183.
- Sommers, L. 1977. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. *J. Environ. Qual.* 6,225-232.
- Sommers, L.E.and Sutton, A.L. 1980. Use of waste materials as source of phosphorus, pp. 515-544. In: F.E. Khasawneh, E.C. Sample, and E.J. Kamprath (eds.), *The Role of Phosphorus in Agriculture*. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Sönmez, O., Aydemir, S.and Saygan, E. 2007.Kurşun ve kurşun biyoalınabilirliğinin belirlenmesi. *HarranÜni. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11 (3/4),1-8.
- Sort, X. and Alcañiz, J.M. 1999a. Modification of soil porosity after application of sewage sludge. *Soil & Tillage Research*, 49, 337-345.
- Sort, X. and Alcañiz, J.M.1999b. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. *Land Degradation & Development*, 10, 3-12.
- Srivastava, S.C.1992. Microbial C, N, and P in Dry Tropical Soils:Seasonal Changes and Influence of Soil Moisture, *Biol. Biochem*,24(7), 711-714.
- Stamatiadis, S., Doran, J.W.and Kettler, T.1999. Field and laboratory evaluation of soil quality changes resulting from injection of liquid sewage sludge. *Applied Soil Ecology*, 14, 263-272.

- Stanford, G. and Donohue, D.1983. The Landmix Program. *Biocycle*, 24 (3), 48-51.
- Stone, R.J. and Ekwue, E.I.1996. Soil compressibility as influenced by sewage sludge incorporation. *J. Agric. Eng. Res*, 64, 227-236.
- Stöven, K., Al-Issa, A., Rogasik, J., Kratz, S.and Schnug, E. 2005. Effect of long term sewage sludge applications on micro-organisms in an arable soil. *Landbau-forsch Völkenrode*, 55(4), 219-226.
- Stratton, M.L., A.V. Barker and J.E. Rechcigl. 1995. Compost. In: Rechcigl, J.E. (Ed.), *Soil Amendments and Environmental Quality*. CRC Press, USA, 249-309.
- Anonim. 2001. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği 10.12.2001 Tarih ve 24609 Sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. 2005. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği 31.05.2005Tarih ve 25831 Sayılı Resmi Gazete.
- Tadesse ,W., Shuford,J. W., Taylor, R. W., Adriano ,D. C.And Sajwan, K. S. 1991.Comparative availability to wheat of metals from sewage sludge and inorganic salts . *Water, Air, and Soil Pollution*. 55(3-4), 397-408.
- Takachi, T.S Noriko,A.and Jiro,U.Teruyuki.2007. Elution of Arsenic from Sewage Sludge. *Proceedings of Environmental Engineering Research*, 3.71-79.
- Tamrabet, L., Bouzerzour,H., Kribaa.M and Makhlouf, M.2009. The Effect of Sewage Sludge Application on Durum Wheat (*Triticum durum*) .*Int. J. Agric. Biol*, (1), 1560-8530.
- Tamrabet,L. , Bouzerzour, H., Kribaa ,M. and Makhlouf ,M. 2008. Response of durum wheat (*triticum durum* desf.) cultivar acsad 1107 to sewage sludge amendment under semi arid climate.*Efficient Management of Wastewater*. 103-111.
- Tan, Q., Hu, C., Zhao B, Mclaner. R.G., Cheng, L. and Wu. L. 2004. Effect of Continual Application of two Kinds Sludge on Enzyme Activities and Heavy Metal Concentrations in Alluvial Soil, *YingYong Sheng Tai Xue Bao*, 15(3), 497-500.
- Terelak, H., Kabata-Pendias, G. and Piedruch, C. 2001. Regional variation in trace element content of cereals in Poland. *Proc. 6th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements*, pp. 403. Guelph, Canada.
- Tester,C.F. 1990. Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil.*Soil Science Society of America Journal*, 54 (3), 827-831.
- Topçuoğlu, B., Önal, K.M., Arı, N. ve Arpacioğlu, A.E. 2003. Toprağa uygulanan ‘kentsel arıtma çamuru’ nun domates bitkisinde gelişme ve mineral madde

içeriği üzerine etkisi. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü araştırma projesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi. 16(1), s.87-96. Antalya.

Tosun, O.ve Yurtman, N. 1973. Ekmeklik Buğdaylarda Verime Etkili Morfolojik ve Fizyolojik Özellikler. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı, 23, 418-434.

Tsadilas C.D., Matsi Theodora, Barbayiannis N. and Dimoyiannis D.2005 . Influence of Sewage Sludge Application on Soil Properties and the Distribution and Availability of Heavy Metal Fraction, Soil Science Laboratory, Aristotelian University, Thessaloniki, Greece.pp, 2603-2618.

Tsadilas,C. D., Samaras, V., Kazai,P., and Sgouras ,J.2002. Fly ash and sewage sludge application on an acid soil and their influence on some soil properties and wheat biomass production .12th ISCO Conference Beijing.

Tsadilasa,C.D., Matsia,T., Barbayiannisa,N.and Dimoyiannisa,D. 1995. Influence of sewage sludge application on soil properties and on the distribution and availability of heavy metal fractions. Soil Sci Plant Anal, 26, 15-16.

Türk Gıda Mevzuatı Kodeksi. 1999. Yayımlandığı R.Gazete : 17.02.1999-23614. Tebliğ No: 99/01.

Türkmen, Ö., Sensoy, S., Dursun, A. and M.Turan. (2004). Sewage Sludge as a Substitute for Mineral Fertilization of Spinach (*Spinicia oleraceae* L.) at Two Growing Periods. Acta Agric. Scand., Sect.B,Soil and Plant Sci, 54,102-107.

Türkmen, C., Karaca, A. and Arcak, S. 2001. Influence of sewage sludge application on heavy metal availability of soil and barley crop. Soil Science Agrochemistry and Ecology, 36,4-6.

Udom, B.E, Mbagwu, J.S.C, Adesodun, J.K, and Agbim, N.N.2004. Distributions of zinc, copper, cadmium and lead in a tropical ultisol after long-term disposal of sewage sludge, Environment International, 30, 467-470.

Usman, A.R.A., Kuzyakov, Y.and Stahr , K. 2004. Dynamics of organic C mineralization and the mobile fraction of heavy metals in a calcareous soil incubated with organic wastes. Water, Air, and Soil Pollution 158, 401–418. doi: 10.1023/ B:WATE.0000044864.07418.8f.

Uzun, P. ve Bilgili. U. 2011. Arıtma çamurlarının tarımda kullanım olanakları. Uludağ üni. Ziraat fak. Dergisi, 25(2), 135-146.

Vance, E.D., P.C. Brookes and D.S. Jenkinson. 1987b. Microbial biomass measurements in forest soils: the use of the chloroform fumigation-incubation method in strongly acid soils. Soil Biol. Biochem, 19, 697-702.

- Veeresh, H., Tripathy, S., Chaudhuri, D., Ghosh, B.C., Hart, B.R. and Powell, M.A. 2003. Changes in physical and chemical properties of three soil types in India as a result of amendment with fly ash and sewage sludge. *Environmental Geology*, 43, 513-520.
- Vigerust, E. 1984. Use of sewage sludge on green area. *Utilization of Sewage Sludge on Land, Rates of Application and Long-Term Effects of Metals*.
- Wardle, D.A., Ghani, A., 1995. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. *Soil Biol. Biochem.* 27 (12), 1601–1610.
- Wang X., Chen Tao., Ge Y. and Jia Y. 2008. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. *Journal of Hazardous Materials*, 160 (2-3), 554-558.
- Wang, J. Y., Stabnikova, O., Ivanov, V., Tay, S. T. L., & Tay, J. H. 2003. Intensive aerobic bioconversion of sewage sludge and food waste into fertilizer. *Waste Management Research*, 21(5), 405–415.
- Wang, Q., Kuninobu, M., Kokimoto, K., Ogawa, H. I. and Kato, Y. 1999. Upgrading of Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge by Ultrasonic Pretreatment. *Bioresource Technol.*, 68, 309 – 313.
- Wang, Z., Wu, Z., Yu, G., Liu, J., Zhou, Z. 2006. Relationship between sludge characteristics and membrane flux determination in submerged membrane bioreactors. *Journal of Membrane Science*, 284, 87-94.
- Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, M., Licznar, S., Jamroz, E. and Kocowicz, A. 2007. Agricultural and Ecological Aspects of a Sandy Soil as Affected by the Application of Municipal Solid Waste Composts. *Soil Biol. Biochem.*, 39, 1294-1302.
- Wei, Q.F., Lowery, B. and Peterson, A.E. 1985. Effects of sludge application on physical properties of a silty clay loam soil. *J. Environ. Qual.*, 14 (2), 178-180.
- White, C.S., Lotfin, S.R. and Aguilar, R. 1997. Application of biosolids to degraded semiarid rangeland. Nine year responses. *J. of Environ. Qual.*, 26, 1663-1671.
- Wilke B. M., Mai M., Gattinger A., Schlöter M., Gong P. 2005. Effects of fresh and aged copper contamination on soil microorganisms. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 668–675.
- Wilson, S.A., Rahe, T.M. and Webber, Jr. W.B. 1985. Municipal wastewater sludge as a soil amendment for revegetating final landfill cover. *Journal of Soil and Water Conservation*, 296-299.

- Wong, J. W. C. and Lai, K. M. 1996. Effect of an artificial soil mix from coal fly ash and sewage sludge on soil microbial activity. *Biology and Fertility Soils*, 23, 420-424.
- Wong, J. W. C., Lai, K. M., Fang, M. and Ma, K. K. 1998. Effect of Sewage Sludge Amendment on Soil Microbial Activity and Nutrient Mineralization. *Environ. Inter.*, 24(8), 935-943.
- Wong, J.W.C., Li, K., Fang, M., Su, D.C. 2001. Toxicity evaluation of sewage sludges in Hong Kong. *Environ. Int.* 27, 373e380.
- Yahyagil, Z. 2003. Ağır Metal (Hg^{++} , Cu^{++} , Cd^{++} , Pb^{++}) Stresi Altında Çimlendirilen Buğday (*Triticum aestivum* L.) tohumlarında Absisik Asit Düzeylerinin Araştırılması, Yüksek Lisan Tezi, Fırat Üni.Fen. Bil. Enst. Biyoloji Anabilim Dalı, Elazığ.
- Yalçın, G., Yavuz, R., Yılmaz, M., Taşpınar, K. ve Ateş, Ö. 2011. Evaluation of Sewage Sludge on Agricultural Lands. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, Sigma 3.
- Yaman, K., Olhan and E. 2011. Arıtma Çamuru Kullanımının Buğdayın Verim, Fiziki Girdi ve Maliyetleri Üzerindeki Etkisi. *Journal of Agricultural Sciences*, 17,157-166.
- Yaman, M.and Bakirdere, S. 2003. İdentification of chemical forms of lead, cadmium and nickel in sewage sludge of wastewater treatment facilities, *Microchimica Acta*, 141, 47-54.
- Yingming, L. and Corey, R.B. 1993. Heavy Metals in the Environment, *Journal of Environment Quality*, 2, 1-8.
- Yuan, G.and Lavkulich, L. M. 1997. Sorption behavior of Cu, Zn and Cd in respons to stimulated changes in soil proopties. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 28,571-587.
- Yürür, N., Tosun, O., Eser, D. ve Geçit, H.H. 1981. Buğdayda anasap verimiyle bazı karakterler arasındaki ilişkiler. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*: 755.
- Zufiaurre.R , A. Olivar, P. Chamorro., C. Ner'in and A. Callizo. 1998. Speciation of metals in sewage sludge for agricultural uses, 123, 255–259.

EKLER

EK 1 İnkübasyon denemesi toprak parametreleri için minitab 15 programıyla yapılan anova test çizelgeleri

Analysis of Variance for ipH1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG İ	3	1,56752	0,52251	46,66	0,000
ZAMAN İ	2	1,05736	0,52868	47,22	0,000
UYG İ*ZAMAN İ	6	0,85318	0,14220	12,70	0,000
Error	24	0,26873	0,01120		
Total	35	3,74679			

S = 0,105817 R-Sq = 92,83% R-Sq(adj) = 89,54%

Analysis of Variance for iEC1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG İ	3	5,0568	1,6856	569,93	0,000
ZAMAN İ	2	7,8963	3,9482	1334,97	0,000
UYG İ*ZAMAN İ	6	4,1760	0,6960	235,33	0,000
Error	24	0,0710	0,0030		
Total	35	17,2001			

S = 0,0543829 R-Sq = 99,59% R-Sq(adj) = 99,40%

Analysis of Variance for ikirec1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG İ	3	0,92093	0,30698	6,74	0,002
ZAMAN İ	2	0,32908	0,16454	3,61	0,042
UYG İ*ZAMAN İ	6	0,27306	0,04551	1,00	0,448
Error	24	1,09300	0,04554		
Total	35	2,61607			

S = 0,213405 R-Sq = 58,22% R-Sq(adj) = 39,07%

Analysis of Variance for iom 1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG İ	3	0,51576	0,17192	3,84	0,022
ZAMAN İ	2	0,50246	0,25123	5,62	0,010
UYG İ*ZAMAN İ	6	0,56469	0,09411	2,10	0,090
Error	24	1,07336	0,04472		
Total	35	2,65627			

S = 0,211479 R-Sq = 59,59% R-Sq(adj) = 41,07%

Analysis of Variance for iDeğ-K

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG İ	3	0,719353	0,239784	58,75	0,000
ZAMAN İ	2	0,038003	0,019002	4,66	0,020
UYG İ*ZAMAN İ	6	0,027462	0,004577	1,12	0,380
Error	24	0,097952	0,004081		
Total	35	0,882771			

S = 0,0638852 R-Sq = 88,90% R-Sq(adj) = 83,82%

Analysis of Variance for iKDK

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG İ	3	14,6543	4,8848	7,43	0,001

ZAMAN İ	2	2,8607	1,4304	2,18	0,135
UYG İ*ZAMAN İ	6	2,5252	0,4209	0,64	0,697
Error	24	15,7781	0,6574		
Total	35	35,8183			

S = 0,810814 R-Sq = 55,95% R-Sq(adj) = 35,76%

Analysis of Variance for ialiN P

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG İ	3	6363,93	2121,31	63,05	0,000
ZAMAN İ	2	3416,58	1708,29	50,78	0,000
UYG İ*ZAMAN İ	6	334,52	55,75	1,66	0,175
Error	24	807,44	33,64		
Total	35	10922,47			

S = 5,80029 R-Sq = 92,61% R-Sq(adj) = 89,22%

Analysis of Variance for iN1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG İ	3	0,00017355	0,00005785	3,10	0,046
ZAMAN İ	2	0,00108249	0,00054124	28,97	0,000
UYG İ*ZAMAN İ	6	0,00118303	0,00019717	10,55	0,000
Error	24	0,00044836	0,00001868		
Total	35	0,00288743			

S = 0,00432224 R-Sq = 84,47% R-Sq(adj) = 77,35%

Analysis of Variance for İNH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN İ	2	1604	802	81,32	0,000
UYG İ	3	349185	116395	11803,43	0,000
ZAMAN İ*UYG İ	6	14742	2457	249,16	0,000
Error	24	237	10		
Total	35	365767			

S = 3,14024 R-Sq = 99,94% R-Sq(adj) = 99,91%

Analysis of Variance for İNO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN İ	2	22996,5	11498,3	1499,77	0,000
UYG İ	3	71841,0	23947,0	3123,52	0,000
ZAMAN İ*UYG İ	6	5653,5	942,3	122,90	0,000
Error	24	184,0	7,7		
Total	35	100675,0			

S = 2,76887 R-Sq = 99,82% R-Sq(adj) = 99,73%

Analysis of Variance for iDTPA Zn

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN İ	2	2,1780	1,0890	1,71	0,202
UYG İ	3	41,1711	13,7237	21,54	0,000
ZAMAN İ*UYG İ	6	6,5614	1,0936	1,72	0,160
Error	24	15,2891	0,6370		
Total	35	65,1996			

S = 0,798150 R-Sq = 76,55% R-Sq(adj) = 65,80%

Analysis of Variance for iDTPA Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN İ	2	10,25114	5,12557	317,53	0,000
UYG İ	3	0,00743	0,00248	0,15	0,926
ZAMAN İ*UYG İ	6	0,03166	0,00528	0,33	0,916
Error	24	0,38740	0,01614		
Total	35	10,67762			

S = 0,127051 R-Sq = 96,37% R-Sq(adj) = 94,71%

Analysis of Variance for iDTPA Cd

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN İ	2	0,03790	0,01895	0,95	0,400
UYG İ	3	0,52006	0,17335	8,70	0,000
ZAMAN İ*UYG İ	6	1,04012	0,17335	8,70	0,000
Error	24	0,47823	0,01993		
Total	35	2,07631			

S = 0,141160 R-Sq = 76,97% R-Sq(adj) = 66,41%

Analysis of Variance for iDTPA Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN İ	2	0,92404	0,46202	68,29	0,000
UYG İ	3	0,28307	0,09436	13,95	0,000
ZAMAN İ*UYG İ	6	0,50278	0,08380	12,39	0,000
Error	24	0,16238	0,00677		
Total	35	1,87227			

S = 0,0822542 R-Sq = 91,33% R-Sq(adj) = 87,35%

Analysis of Variance for iDTPA Cr

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN İ	2	0,155124	0,077562	71595,92	0,000
UYG İ	3	0,035603	0,011868	10954,69	0,000
ZAMAN İ*UYG İ	6	0,071205	0,011868	10954,69	0,000
Error	24	0,000026	0,000001		
Total	35	0,261959			

Analysis of Variance for iDTPA Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN İ	2	13,2655	6,6328	117,81	0,000
UYG İ	3	4,6047	1,5349	27,26	0,000
ZAMAN İ*UYG İ	6	3,2979	0,5497	9,76	0,000
Error	24	1,3512	0,0563		
Total	35	22,5194			

S = 0,237277 R-Sq = 94,00% R-Sq(adj) = 91,25%

Analysis of Variance for D pH

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG D	3	1,76243	0,58748	21,72	0,000
ZAMAN D	2	4,55681	2,27840	84,23	0,000
UYG D*ZAMAN D	6	0,93848	0,15641	5,78	0,001
Error	24	0,64920	0,02705		
Total	35	7,90692			

S = 0,164469 R-Sq = 91,79% R-Sq(adj) = 88,03%

Analysis of Variance for D EC

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG D	3	5,6402	1,8801	105,74	0,000
ZAMAN D	2	9,8481	4,9241	276,96	0,000
UYG D*ZAMAN D	6	1,1730	0,1955	11,00	0,000
Error	24	0,4267	0,0178		
Total	35	17,0880			

S = 0,133339 R-Sq = 97,50% R-Sq(adj) = 96,36%

Analysis of Variance for D KİREC

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG D	3	0,018497	0,006166	2,85	0,058
ZAMAN D	2	0,012244	0,006122	2,83	0,079
UYG D*ZAMAN D	6	0,015044	0,002507	1,16	0,360
Error	24	0,051876	0,002162		
Total	35	0,097662			

S = 0,0464921 R-Sq = 46,88% R-Sq(adj) = 22,54%

Analysis of Variance for D OM

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG D	3	5,2028	1,7343	8,24	0,001
ZAMAN D	2	8,3026	4,1513	19,72	0,000
UYG D*ZAMAN D	6	1,1216	0,1869	0,89	0,519
Error	24	5,0532	0,2105		
Total	35	19,6802			

S = 0,458856 R-Sq = 74,32% R-Sq(adj) = 62,56%

Analysis of Variance for DDeğ-K

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG D	3	0,084296	0,028099	149,38	0,000
ZAMAN D	2	0,142063	0,071031	377,61	0,000
UYG D*ZAMAN D	6	0,136023	0,022670	120,52	0,000
Error	24	0,004515	0,000188		
Total	35	0,366896			

Analysis of Variance for DKDK

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG D	3	427,30	142,43	2,64	0,072
ZAMAN D	2	74,37	37,18	0,69	0,511
UYG D*ZAMAN D	6	489,50	81,58	1,51	0,216
Error	24	1293,06	53,88		
Total	35	2284,23			

S = 7,34012 R-Sq = 43,39% R-Sq(adj) = 17,45%

Analysis of Variance for Dalın P

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

UYG D	3	8489,0	2829,7	63,25	0,000
ZAMAN D	2	12982,1	6491,1	145,08	0,000
UYG D*ZAMAN D	6	478,1	79,7	1,78	0,146
Error	24	1073,8	44,7		
Total	35	23023,0			

S = 6,68883 R-Sq = 95,34% R-Sq(adj) = 93,20%

Analysis of Variance for DNH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN D	2	198244	99122	11013,53	0,000
UYG D	3	125595	41865	4651,66	0,000
ZAMAN D*UYG D	6	20618	3436	381,82	0,000
Error	24	216	9		
Total	35	344673			

S = 3 R-Sq = 99,94% R-Sq(adj) = 99,91%

Analysis of Variance for DNO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN D	2	14871,5	7435,7	1256,75	0,000
UYG D	3	27628,8	9209,6	1556,55	0,000
ZAMAN D*UYG D	6	1512,5	252,1	42,61	0,000
Error	24	142,0	5,9		
Total	35	44154,7			

S = 2,43242 R-Sq = 99,68% R-Sq(adj) = 99,53%

Analysis of Variance for DDTPA Zn

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN D	2	21,140	10,570	11,46	0,000
UYG D	3	94,465	31,488	34,14	0,000
ZAMAN D*UYG D	6	7,038	1,173	1,27	0,307
Error	24	22,133	0,922		
Total	35	144,777			

S = 0,960321 R-Sq = 84,71% R-Sq(adj) = 77,71%

Analysis of Variance for DDTPA Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN D	2	129,962	64,981	147,48	0,000
UYG D	3	1,329	0,443	1,01	0,407
ZAMAN D*UYG D	6	2,089	0,348	0,79	0,587
Error	24	10,575	0,441		
Total	35	143,954			

S = 0,663790 R-Sq = 92,65% R-Sq(adj) = 89,29%

Analysis of Variance for DDTPA Cd

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN D	2	1,44273	0,72137	47,27	0,000
UYG D	3	0,04318	0,01439	0,94	0,435
ZAMAN D*UYG D	6	0,08637	0,01439	0,94	0,483
Error	24	0,36622	0,01526		

Total 35 1,93850
 S = 0,123528 R-Sq = 81,11% R-Sq(adj) = 72,45%

Analysis of Variance for DDTPA Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN D	2	3,78914	1,89457	64,94	0,000
UYG D	3	0,34916	0,11639	3,99	0,019
ZAMAN D*UYG D	6	0,35714	0,05952	2,04	0,099
Error	24	0,70018	0,02917		
Total	35	5,19562			

S = 0,170804 R-Sq = 86,52% R-Sq(adj) = 80,35%

Analysis of Variance for DDTPA Cr

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN D	2	0,94852	0,47426	41,50	0,000
UYG D	3	0,04795	0,01598	1,40	0,267
ZAMAN D*UYG D	6	0,09590	0,01598	1,40	0,256
Error	24	0,27426	0,01143		
Total	35	1,36664			

S = 0,106900 R-Sq = 79,93% R-Sq(adj) = 70,73%

Analysis of Variance for DDTPA Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN D	2	221,985	110,992	71,71	0,000
UYG D	3	6,514	2,171	1,40	0,266
ZAMAN D*UYG D	6	3,794	0,632	0,41	0,866
Error	24	37,146	1,548		
Total	35	269,439			

S = 1,24408 R-Sq = 86,21% R-Sq(adj) = 79,89%

Analysis of Variance for GpH1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG GANTEP	3	0,102056	0,034019	3,49	0,031
ZAMAN G.ANTEP	2	0,341617	0,170808	17,50	0,000
UYG GANTEP*ZAMAN G.ANTEP	6	0,173961	0,028994	2,97	0,026
Error	24	0,234267	0,009761		
Total	35	0,851900			

S = 0,0987983 R-Sq = 72,50% R-Sq(adj) = 59,90%

Analysis of Variance for GEC1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG GANTEP	3	4,7826	1,5942	26,44	0,000
ZAMAN G.ANTEP	2	26,0292	13,0146	215,85	0,000
UYG GANTEP*ZAMAN G.ANTEP	6	2,2222	0,3704	6,14	0,001
Error	24	1,4471	0,0603		
Total	35	34,4811			

S = 0,245552 R-Sq = 95,80% R-Sq(adj) = 93,88%

Analysis of Variance for Gkirec1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG GANTEP	3	1,7499	0,5833	0,81	0,500
ZAMAN G.ANTEP	2	0,7973	0,3986	0,55	0,581
UYG GANTEP*ZAMAN G.ANTEP	6	2,7061	0,4510	0,63	0,707
Error	24	17,2446	0,7185		
Total	35	22,4979			

S = 0,847659 R-Sq = 23,35% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for Gom 1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG GANTEP	3	1,12066	0,37355	8,49	0,001
ZAMAN G.ANTEP	2	0,09974	0,04987	1,13	0,339
UYG GANTEP*ZAMAN G.ANTEP	6	0,92862	0,15477	3,52	0,012
Error	24	1,05627	0,04401		
Total	35	3,20528			

S = 0,209788 R-Sq = 67,05% R-Sq(adj) = 51,94%

Analysis of Variance for GDeğişebilir -K

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG GANTEP	3	0,296831	0,098944	309,55	0,000
ZAMAN G.ANTEP	2	0,745769	0,372884	1166,57	0,000
UYG GANTEP*ZAMAN G.ANTEP	6	0,025644	0,004274	13,37	0,000
Error	24	0,007671	0,000320		
Total	35	1,075914			

S = 0,0178785 R-Sq = 99,29% R-Sq(adj) = 98,96%

Analysis of Variance for GKDK

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG GANTEP	3	324,61	108,20	8,74	0,000
ZAMAN G.ANTEP	2	69,94	34,97	2,83	0,079
UYG GANTEP*ZAMAN G.ANTEP	6	58,04	9,67	0,78	0,593
Error	24	297,01	12,38		
Total	35	749,60			

S = 3,51790 R-Sq = 60,38% R-Sq(adj) = 42,22%

Analysis of Variance for Galınrfosfor

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG GANTEP	3	18173,2	6057,7	227,07	0,000
ZAMAN G.ANTEP	2	9294,9	4647,5	174,21	0,000
UYG GANTEP*ZAMAN G.ANTEP	6	5196,9	866,2	32,47	0,000
Error	24	640,3	26,7		
Total	35	33305,3			

S = 5,16500 R-Sq = 98,08% R-Sq(adj) = 97,20%

Analysis of Variance for GNH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN G.ANTEP	2	141421	70710	35355,13	0,000
UYG GANTEP	3	59316	19772	9886,00	0,000
ZAMAN G.ANTEP*UYG GANTEP	6	17600	2933	1466,63	0,000
Error	24	48	2		

Total 35 218384

S = 1,41421 R-Sq = 99,98% R-Sq(adj) = 99,97%

Analysis of Variance for GNO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN G.ANTEP	2	24660,5	12330,2	2425,62	0,000
UYG GANTEP	3	11982,8	3994,3	785,75	0,000
ZAMAN G.ANTEP*UYG GANTEP	6	679,5	113,3	22,28	0,000
Error	24	122,0	5,1		
Total	35	37444,8			

S = 2,25462 R-Sq = 99,67% R-Sq(adj) = 99,52%

Analysis of Variance for GDTPA Zn

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN G.ANTEP	2	2,4056	1,2028	10,29	0,001
UYG GANTEP	3	30,4115	10,1372	86,72	0,000
ZAMAN G.ANTEP*UYG GANTEP	6	3,6602	0,6100	5,22	0,001
Error	24	2,8055	0,1169		
Total	35	39,2828			

S = 0,341902 R-Sq = 92,86% R-Sq(adj) = 89,58%

Analysis of Variance for GDTPA Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN G.ANTEP	2	125,530	62,765	17408,18	0,000
UYG GANTEP	3	0,022	0,007	2,08	0,130
ZAMAN G.ANTEP*UYG GANTEP	6	0,034	0,006	1,57	0,200
Error	24	0,087	0,004		
Total	35	125,673			

S = 0,0600458 R-Sq = 99,93% R-Sq(adj) = 99,90%

Analysis of Variance for GDTPA Cd

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN G.ANTEP	2	1,74409	0,87204	17676,58	0,000
UYG GANTEP	3	0,00019	0,00006	1,30	0,296
ZAMAN G.ANTEP*UYG GANTEP	6	0,00039	0,00006	1,30	0,293
Error	24	0,00118	0,00005		
Total	35	1,74585			

S = 0,00702377 R-Sq = 99,93% R-Sq(adj) = 99,90%

Analysis of Variance for GDTPA Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN G.ANTEP	2	0,236512	0,118256	270,88	0,000
UYG GANTEP	3	0,072718	0,024239	55,52	0,000
ZAMAN G.ANTEP*UYG GANTEP	6	0,040099	0,006683	15,31	0,000
Error	24	0,010477	0,000437		
Total	35	0,359807			

S = 0,0208939 R-Sq = 97,09% R-Sq(adj) = 95,75%

Analysis of Variance for GDTPA Cr

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN G.ANTEP	2	0,000000000	0,000000000	**	
UYG GANTEP	3	0,000000000	0,000000000	**	
ZAMAN G.ANTEP*UYG GANTEP	6	0,000000000	0,000000000	**	
Error	24	0,000000000	0,000000000		
Total	35	0,000000000			

** Denominator of F-test is zero.

S = 0 R-Sq = *% R-Sq(adj) = *%

Analysis of Variance for GDTPA Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN G.ANTEP	2	1,45799	0,72900	15,73	0,000
UYG GANTEP	3	0,12321	0,04107	0,89	0,462
ZAMAN G.ANTEP*UYG GANTEP	6	0,40325	0,06721	1,45	0,237
Error	24	1,11210	0,04634		
Total	35	3,09656			

S = 0,215262 R-Sq = 64,09% R-Sq(adj) = 47,63%

Analysis of Variance for LpH1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	0,56751	0,28375	59,88	0,000
UYG LARA	3	0,15361	0,05120	10,80	0,000
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	0,92372	0,15395	32,49	0,000
Error	24	0,11373	0,00474		
Total	35	1,75856			

S = 0,0688396 R-Sq = 93,53% R-Sq(adj) = 90,57%

Analysis of Variance for LEC1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	13,7488	6,8744	60,39	0,000
UYG LARA	3	12,7467	4,2489	37,33	0,000
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	8,7796	1,4633	12,86	0,000
Error	24	2,7318	0,1138		
Total	35	38,0069			

S = 0,337380 R-Sq = 92,81% R-Sq(adj) = 89,52%

Analysis of Variance for Lkirec1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	2,33	1,17	0,06	0,946
UYG LARA	3	123,92	41,31	1,99	0,142
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	46,91	7,82	0,38	0,887
Error	24	498,40	20,77		
Total	35	671,57			

S = 4,55707 R-Sq = 25,78% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for Lom 1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	0,00925	0,00463	0,35	0,708
UYG LARA	3	0,33742	0,11247	8,51	0,001
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	0,06465	0,01078	0,82	0,569
Error	24	0,31728	0,01322		
Total	35	0,72861			

S = 0,114979 R-Sq = 56,45% R-Sq(adj) = 36,49%

Analysis of Variance for L DEĞ K

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	0,016066	0,008033	18,25	0,000
UYG LARA	3	0,450394	0,150131	341,07	0,000
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	0,014296	0,002383	5,41	0,001
Error	24	0,010564	0,000440		
Total	35	0,491320			

S = 0,0209803 R-Sq = 97,85% R-Sq(adj) = 96,86%

Analysis of Variance for L KDK

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	0,268	0,134	0,03	0,970
UYG LARA	3	71,150	23,717	5,38	0,006
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	0,774	0,129	0,03	1,000
Error	24	105,718	4,405		
Total	35	177,910			

S = 2,09879 R-Sq = 40,58% R-Sq(adj) = 13,34%

Analysis of Variance for Lahırfosfor

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	1296,0	648,0	3,76	0,038
UYG LARA	3	41105,6	13701,9	79,61	0,000
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	1108,7	184,8	1,07	0,406
Error	24	4130,9	172,1		
Total	35	47641,1			

S = 13,1195 R-Sq = 91,33% R-Sq(adj) = 87,35%

Analysis of Variance for LNH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	158462	79231	9413,58	0,000
UYG LARA	3	127934	42645	5066,69	0,000
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	23170	3862	458,81	0,000
Error	24	202	8		
Total	35	309768			

S = 2,90115 R-Sq = 99,93% R-Sq(adj) = 99,90%

Analysis of Variance for LNO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	21306,5	10653,3	1638,96	0,000

UYG LARA	3	6674,0	2224,7	342,26	0,000
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	137,5	22,9	3,53	0,012
Error	24	156,0	6,5		
Total	35	28274,0			

S = 2,54951 R-Sq = 99,45% R-Sq(adj) = 99,20%

Analysis of Variance for LDTPA Zn

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	0,3012	0,1506	12,10	0,000
UYG LARA	3	17,0811	5,6937	457,53	0,000
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	0,3336	0,0556	4,47	0,004
Error	24	0,2987	0,0124		
Total	35	18,0146			

S = 0,111555 R-Sq = 98,34% R-Sq(adj) = 97,58%

Analysis of Variance for LDTPA Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	0,011850	0,005925	4,21	0,027
UYG LARA	3	0,002900	0,000967	0,69	0,569
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	0,006550	0,001092	0,78	0,597
Error	24	0,033800	0,001408		
Total	35	0,055100			

S = 0,0375278 R-Sq = 38,66% R-Sq(adj) = 10,54%

Analysis of Variance for LDTPA Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	0,010572	0,005286	15,75	0,000
UYG LARA	3	0,126675	0,042225	125,79	0,000
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	0,007152	0,001192	3,55	0,012
Error	24	0,008056	0,000336		
Total	35	0,152454			

S = 0,0183212 R-Sq = 94,72% R-Sq(adj) = 92,29%

Analysis of Variance for LDTPA Cr

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	0,011668	0,005834	0,88	0,429
UYG LARA	3	0,122492	0,040831	6,14	0,003
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	0,015998	0,002666	0,40	0,871
Error	24	0,159707	0,006654		
Total	35	0,309864			

S = 0,0815748 R-Sq = 48,46% R-Sq(adj) = 24,84%

Analysis of Variance for LDTPA Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN LARA	2	1,29598	0,64799	16,67	0,000
UYG LARA	3	2,08986	0,69662	17,92	0,000
ZAMAN LARA*UYG LARA	6	0,78529	0,13088	3,37	0,015
Error	24	0,93280	0,03887		
Total	35	5,10393			

S = 0,197146 R-Sq = 81,72% R-Sq(adj) = 73,35%

Analysis of Variance for KpH1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYGKMÜRSEL	3	0,92520	0,30840	56,99	0,000
ZAMANKMÜRSEL	2	0,10302	0,05151	9,52	0,001
UYGKMÜRSEL*ZAMANKMÜRSEL	6	0,09252	0,01542	2,85	0,031
Error	24	0,12987	0,00541		
Total	35	1,25060			

S = 0,0735603 R-Sq = 89,62% R-Sq(adj) = 84,86%

Analysis of Variance for KEC1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYGKMÜRSEL	3	3,8735	1,2912	117,73	0,000
ZAMANKMÜRSEL	2	13,8053	6,9026	629,41	0,000
UYGKMÜRSEL*ZAMANKMÜRSEL	6	0,9707	0,1618	14,75	0,000
Error	24	0,2632	0,0110		
Total	35	18,9127			

S = 0,104723 R-Sq = 98,61% R-Sq(adj) = 97,97%

Analysis of Variance for Kkirec1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYGKMÜRSEL	3	0,44640	0,14880	2,43	0,090
ZAMANKMÜRSEL	2	0,02726	0,01363	0,22	0,802
UYGKMÜRSEL*ZAMANKMÜRSEL	6	0,08650	0,01442	0,24	0,961
Error	24	1,46991	0,06125		
Total	35	2,03008			

S = 0,247480 R-Sq = 27,59% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for Kom 1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYGKMÜRSEL	3	2,51151	0,83717	13,90	0,000
ZAMANKMÜRSEL	2	6,16380	3,08190	51,15	0,000
UYGKMÜRSEL*ZAMANKMÜRSEL	6	0,78791	0,13132	2,18	0,081
Error	24	1,44593	0,06025		
Total	35	10,90915			

S = 0,245453 R-Sq = 86,75% R-Sq(adj) = 80,67%

Analysis of Variance for KDeğ-K

Source	DF	SS	MS	F	P
UYGKMÜRSEL	3	0,096378	0,032126	98,85	0,000
ZAMANKMÜRSEL	2	0,104559	0,052279	160,87	0,000
UYGKMÜRSEL*ZAMANKMÜRSEL	6	0,004635	0,000773	2,38	0,060
Error	24	0,007800	0,000325		
Total	35	0,213371			

S = 0,0180274 R-Sq = 96,34% R-Sq(adj) = 94,67%

Analysis of Variance for KKDK

Source	DF	SS	MS	F	P
UYGKMÜRSEL	3	87,25	29,08	1,07	0,380
ZAMANKMÜRSEL	2	16,19	8,09	0,30	0,745
UYGKMÜRSEL*ZAMANKMÜRSEL	6	19,83	3,30	0,12	0,993
Error	24	651,82	27,16		
Total	35	775,09			

S = 5,21144 R-Sq = 15,90% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for Kalın P

Source	DF	SS	MS	F	P
UYGKMÜRSEL	3	39727,0	13242,3	96,56	0,000
ZAMANKMÜRSEL	2	9761,2	4880,6	35,59	0,000
UYGKMÜRSEL*ZAMANKMÜRSEL	6	4804,4	800,7	5,84	0,001
Error	24	3291,5	137,1		
Total	35	57584,1			

S = 11,7109 R-Sq = 94,28% R-Sq(adj) = 91,66%

Analysis of Variance for KNH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMANKMÜRSEL	2	69277	34638	10938,39	0,000
UYGKMÜRSEL	3	38743	12914	4078,18	0,000
ZAMANKMÜRSEL*UYGKMÜRSEL	6	11725	1954	617,13	0,000
Error	24	76	3		
Total	35	119821			

S = 1,77951 R-Sq = 99,94% R-Sq(adj) = 99,91%

Analysis of Variance for KNO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMANKMÜRSEL	2	10588,5	5294,3	1717,05	0,000
UYGKMÜRSEL	3	9789,0	3263,0	1058,27	0,000
ZAMANKMÜRSEL*UYGKMÜRSEL	6	1405,5	234,3	75,97	0,000
Error	24	74,0	3,1		
Total	35	21857,0			

S = 1,75594 R-Sq = 99,66% R-Sq(adj) = 99,51%

Analysis of Variance for KDTPA Zn

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMANKMÜRSEL	2	34,940	17,470	89,51	0,000
UYGKMÜRSEL	3	56,269	18,756	96,10	0,000
ZAMANKMÜRSEL*UYGKMÜRSEL	6	21,231	3,538	18,13	0,000
Error	24	4,684	0,195		
Total	35	117,124			

S = 0,441791 R-Sq = 96,00% R-Sq(adj) = 94,17%

Analysis of Variance for KDTPA Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMANKMÜRSEL	2	76,0138	38,0069	15551,63	0,000
UYGKMÜRSEL	3	0,0989	0,0330	13,50	0,000

ZAMANKMÜRSEL*UYGKMÜRSEL	6	0,1666	0,0278	11,36	0,000
Error	24	0,0587	0,0024		
Total	35	76,3380			

S = 0,0494360 R-Sq = 99,92% R-Sq(adj) = 99,89%

Analysis of Variance for KDTPA Cd

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMANKMÜRSEL	2	1,86567	0,93283	17787,09	0,000
UYGKMÜRSEL	3	0,00020	0,00007	1,27	0,308
ZAMANKMÜRSEL*UYGKMÜRSEL	6	0,00040	0,00007	1,27	0,309
Error	24	0,00126	0,00005		
Total	35	1,86752			

S = 0,00724185 R-Sq = 99,93% R-Sq(adj) = 99,90%

Analysis of Variance for KDTPA Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMANKMÜRSEL	2	0,57243	0,28621	65,17	0,000
UYGKMÜRSEL	3	0,02946	0,00982	2,24	0,110
ZAMANKMÜRSEL*UYGKMÜRSEL	6	0,50474	0,08412	19,15	0,000
Error	24	0,10540	0,00439		
Total	35	1,21203			

S = 0,0662711 R-Sq = 91,30% R-Sq(adj) = 87,32%

Analysis of Variance for KDTPA Cr

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMANKMÜRSEL	2	0,000000000	0,000000000	**	
UYGKMÜRSEL	3	0,000000000	0,000000000	**	
ZAMANKMÜRSEL*UYGKMÜRSEL	6	0,000000000	0,000000000	**	
Error	24	0,000000000	0,000000000		
Total	35	0,000000000			

** Denominator of F-test is zero.

S = 0 R-Sq = *% R-Sq(adj) = *%

Analysis of Variance for KDTPA Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMANKMÜRSEL	2	5,5763	2,7882	16,93	0,000
UYGKMÜRSEL	3	1,4864	0,4955	3,01	0,050
ZAMANKMÜRSEL*UYGKMÜRSEL	6	1,0317	0,1719	1,04	0,422
Error	24	3,9533	0,1647		
Total	35	12,0477			

S = 0,405860 R-Sq = 67,19% R-Sq(adj) = 52,15%

Analysis of Variance for ApH1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ANKARA	3	0,81503	0,27168	26,17	0,000
ZAMAN ANKARA	2	0,12271	0,06135	5,91	0,008

UYG ANKARA*ZAMAN ANKARA 6 0,24676 0,04113 3,96 0,007
 Error 24 0,24913 0,01038
 Total 35 1,43363
 S = 0,101885 R-Sq = 82,62% R-Sq(adj) = 74,66%

Analysis of Variance for AEC1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ANKARA	3	5,3197	1,7732	75,49	0,000
ZAMAN ANKARA	2	8,8799	4,4399	189,02	0,000
UYG ANKARA*ZAMAN ANKARA	6	2,6649	0,4441	18,91	0,000
Error	24	0,5637	0,0235		
Total	35	17,4281			

S = 0,153261 R-Sq = 96,77% R-Sq(adj) = 95,28%

Analysis of Variance for Akirec1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ANKARA	3	1,1540	0,3847	1,10	0,367
ZAMAN ANKARA	2	1,6348	0,8174	2,35	0,117
UYG ANKARA*ZAMAN ANKARA	6	2,8521	0,4754	1,37	0,269
Error	24	8,3575	0,3482		
Total	35	13,9985			

S = 0,590109 R-Sq = 40,30% R-Sq(adj) = 12,93%

Analysis of Variance for Aom 1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ANKARA	3	4,87556	1,62519	21,82	0,000
ZAMAN ANKARA	2	0,61136	0,30568	4,10	0,029
UYG ANKARA*ZAMAN ANKARA	6	2,74415	0,45736	6,14	0,001
Error	24	1,78771	0,07449		
Total	35	10,01878			

S = 0,272925 R-Sq = 82,16% R-Sq(adj) = 73,98%

Analysis of Variance for ADeğ-K

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ANKARA	3	0,173817	0,057939	68,55	0,000
ZAMAN ANKARA	2	0,666572	0,333286	394,30	0,000
UYG ANKARA*ZAMAN ANKARA	6	0,121853	0,020309	24,03	0,000
Error	24	0,020286	0,000845		
Total	35	0,982527			

S = 0,0290733 R-Sq = 97,94% R-Sq(adj) = 96,99%

Analysis of Variance for AKDK

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ANKARA	3	1186,61	395,54	5,75	0,004
ZAMAN ANKARA	2	423,54	211,77	3,08	0,065
UYG ANKARA*ZAMAN ANKARA	6	460,21	76,70	1,12	0,383
Error	24	1650,71	68,78		
Total	35	3721,07			

S = 8,29335 R-Sq = 55,64% R-Sq(adj) = 35,31%

Analysis of Variance for Aalnrfosfor

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ANKARA	3	29264,4	9754,8	53,98	0,000
ZAMAN ANKARA	2	16337,7	8168,9	45,21	0,000
UYG ANKARA*ZAMAN ANKARA	6	6780,0	1130,0	6,25	0,000
Error	24	4336,9	180,7		
Total	35	56719,0			

S = 13,4426 R-Sq = 92,35% R-Sq(adj) = 88,85%

Analysis of Variance for AN1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ANKARA	3	0,00059462	0,00019821	5,48	0,005
ZAMAN ANKARA	2	0,00003612	0,00001806	0,50	0,613
UYG ANKARA*ZAMAN ANKARA	6	0,00099486	0,00016581	4,59	0,003
Error	24	0,00086784	0,00003616		
Total	35	0,00249343			

S = 0,00601330 R-Sq = 65,20% R-Sq(adj) = 49,24%

Analysis of Variance for ANH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ANKARA	2	329504	164752	31381,33	0,000
UYG ANKARA	3	80657	26886	5121,08	0,000
ZAMAN ANKARA*UYG ANKARA	6	38836	6473	1232,89	0,000
Error	24	126	5		
Total	35	449123			

S = 2,29129 R-Sq = 99,97% R-Sq(adj) = 99,96%

Analysis of Variance for ANO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ANKARA	2	29432,0	14716,0	2675,64	0,000
UYG ANKARA	3	15594,0	5198,0	945,09	0,000
ZAMAN ANKARA*UYG ANKARA	6	1188,0	198,0	36,00	0,000
Error	24	132,0	5,5		
Total	35	46346,0			

S = 2,34521 R-Sq = 99,72% R-Sq(adj) = 99,58%

Analysis of Variance for ADTPA Zn

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ANKARA	2	115,313	57,656	6,51	0,006
UYG ANKARA	3	365,107	121,702	13,74	0,000
ZAMAN ANKARA*UYG ANKARA	6	94,157	15,693	1,77	0,148
Error	24	212,638	8,860		
Total	35	787,214			

S = 2,97656 R-Sq = 72,99% R-Sq(adj) = 60,61%

Analysis of Variance for ADTPA Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ANKARA	2	48,8956	24,4478	248,23	0,000
UYG ANKARA	3	0,7628	0,2543	2,58	0,077
ZAMAN ANKARA*UYG ANKARA	6	1,2376	0,2063	2,09	0,092
Error	24	2,3637	0,0985		
Total	35	53,2597			

S = 0,313828 R-Sq = 95,56% R-Sq(adj) = 93,53%

Analysis of Variance for ADTPA Cd

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ANKARA	2	1,85538	0,92769	12766,38	0,000
UYG ANKARA	3	0,00081	0,00027	3,71	0,025
ZAMAN ANKARA*UYG ANKARA	6	0,00162	0,00027	3,71	0,009
Error	24	0,00174	0,00007		
Total	35	1,85955			

S = 0,00852447 R-Sq = 99,91% R-Sq(adj) = 99,86%

Analysis of Variance for ADTPA Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ANKARA	2	1,22468	0,61234	217,76	0,000
UYG ANKARA	3	0,19951	0,06650	23,65	0,000
ZAMAN ANKARA*UYG ANKARA	6	0,11525	0,01921	6,83	0,000
Error	24	0,06749	0,00281		
Total	35	1,60694			

S = 0,0530288 R-Sq = 95,80% R-Sq(adj) = 93,88%

Analysis of Variance for ADTPA Cr

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ANKARA	2	0,000000000	0,000000000	**	
UYG ANKARA	3	0,000000000	0,000000000	**	
ZAMAN ANKARA*UYG ANKARA	6	0,000000000	0,000000000	**	
Error	24	0,000000000	0,000000000		
Total	35	0,000000000			

** Denominator of F-test is zero.

S = 0 R-Sq = *% R-Sq(adj) = *%

Analysis of Variance for ADTPA Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ANKARA	2	35,0613	17,5306	36,48	0,000
UYG ANKARA	3	7,6770	2,5590	5,33	0,006
ZAMAN ANKARA*UYG ANKARA	6	4,7395	0,7899	1,64	0,178
Error	24	11,5329	0,4805		
Total	35	59,0107			

S = 0,693207 R-Sq = 80,46% R-Sq(adj) = 71,50%

Analysis of Variance for C86

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ANKARA	2	0,004481	0,002240	0,62	0,548
UYG ANKARA	3	0,217243	0,072414	19,91	0,000
ZAMAN ANKARA*UYG ANKARA	6	0,434486	0,072414	19,91	0,000
Error	24	0,087308	0,003638		
Total	35	0,743518			

S = 0,0603145 R-Sq = 88,26% R-Sq(adj) = 82,88%

Analysis of Variance for SpH1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG SAMSUN	3	0,44990	0,14997	7,50	0,001
ZAMAN SAMSUN	2	0,36572	0,18286	9,14	0,001
UYG SAMSUN*ZAMAN SAMSUN	6	0,50366	0,08394	4,20	0,005
Error	24	0,48020	0,02001		
Total	35	1,79947			

S = 0,141451 R-Sq = 73,31% R-Sq(adj) = 61,08%

Analysis of Variance for SEC1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG SAMSUN	3	3,22906	1,07635	30,09	0,000
ZAMAN SAMSUN	2	5,36290	2,68145	74,96	0,000
UYG SAMSUN*ZAMAN SAMSUN	6	1,04114	0,17352	4,85	0,002
Error	24	0,85847	0,03577		
Total	35	10,49157			

S = 0,189128 R-Sq = 91,82% R-Sq(adj) = 88,07%

Analysis of Variance for Skirec1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG SAMSUN	3	0,13437	0,04479	1,62	0,211
ZAMAN SAMSUN	2	0,04741	0,02370	0,86	0,437
UYG SAMSUN*ZAMAN SAMSUN	6	0,06056	0,01009	0,37	0,894
Error	24	0,66304	0,02763		
Total	35	0,90538			

S = 0,166213 R-Sq = 26,77% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for Som 1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG SAMSUN	3	2,38994	0,79665	30,13	0,000
ZAMAN SAMSUN	2	1,32403	0,66202	25,04	0,000
UYG SAMSUN*ZAMAN SAMSUN	6	0,30728	0,05121	1,94	0,116
Error	24	0,63454	0,02644		
Total	35	4,65580			

S = 0,162602 R-Sq = 86,37% R-Sq(adj) = 80,12%

Analysis of Variance for SDeğ-K

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG SAMSUN	3	0,086622	0,028874	49,81	0,000
ZAMAN SAMSUN	2	0,057953	0,028977	49,99	0,000
UYG SAMSUN*ZAMAN SAMSUN	6	0,016509	0,002751	4,75	0,003
Error	24	0,013911	0,000580		
Total	35	0,174995			

S = 0,0240754 R-Sq = 92,05% R-Sq(adj) = 88,41%

Analysis of Variance for SKDK

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG SAMSUN	3	51,22	17,07	1,36	0,279
ZAMAN SAMSUN	2	30,91	15,46	1,23	0,310
UYG SAMSUN*ZAMAN SAMSUN	6	58,78	9,80	0,78	0,594
Error	24	301,36	12,56		
Total	35	442,27			

S = 3,54351 R-Sq = 31,86% R-Sq(adj) = 0,63%

Analysis of Variance for Salınrfosfor

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG SAMSUN	3	4093,61	1364,54	43,63	0,000
ZAMAN SAMSUN	2	1540,79	770,39	24,63	0,000
UYG SAMSUN*ZAMAN SAMSUN	6	652,92	108,82	3,48	0,013
Error	24	750,60	31,27		
Total	35	7037,92			

S = 5,59239 R-Sq = 89,33% R-Sq(adj) = 84,45%

Analysis of Variance for SNH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN SAMSUN	2	5259,5	2629,8	358,60	0,000
UYG SAMSUN	3	23890,8	7963,6	1085,94	0,000
ZAMAN SAMSUN*UYG SAMSUN	6	1440,5	240,1	32,74	0,000
Error	24	176,0	7,3		
Total	35	30766,8			

S = 2,70801 R-Sq = 99,43% R-Sq(adj) = 99,17%

Analysis of Variance for SNO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN SAMSUN	2	1390,50	695,25	146,37	0,000
UYG SAMSUN	3	2083,00	694,33	146,18	0,000
ZAMAN SAMSUN*UYG SAMSUN	6	279,50	46,58	9,81	0,000
Error	24	114,00	4,75		
Total	35	3867,00			

S = 2,17945 R-Sq = 97,05% R-Sq(adj) = 95,70%

Analysis of Variance for SDTPA Zn

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN SAMSUN	2	2,9762	1,4881	3,04	0,067
UYG SAMSUN	3	36,6020	12,2007	24,90	0,000
ZAMAN SAMSUN*UYG SAMSUN	6	5,7708	0,9618	1,96	0,111
Error	24	11,7603	0,4900		
Total	35	57,1093			

S = 0,700010 R-Sq = 79,41% R-Sq(adj) = 69,97%

Analysis of Variance for SDTPA Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN SAMSUN	2	6,53131	3,26565	35,75	0,000
UYG SAMSUN	3	0,09222	0,03074	0,34	0,799
ZAMAN SAMSUN*UYG SAMSUN	6	1,42942	0,23824	2,61	0,043
Error	24	2,19252	0,09135		

Total 35 10,24546
 S = 0,302250 R-Sq = 78,60% R-Sq(adj) = 68,79%

Analysis of Variance for SDTPA Cd

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN SAMSUN	2	1,55761	0,77881	12938,17	0,000
UYG SAMSUN	3	0,00095	0,00032	5,25	0,006
ZAMAN SAMSUN*UYG SAMSUN	6	0,00190	0,00032	5,25	0,001
Error	24	0,00144	0,00006		
Total	35	1,56190			

S = 0,00775851 R-Sq = 99,91% R-Sq(adj) = 99,87%

Analysis of Variance for SDTPA Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN SAMSUN	2	2,74528	1,37264	457,14	0,000
UYG SAMSUN	3	0,49909	0,16636	55,40	0,000
ZAMAN SAMSUN*UYG SAMSUN	6	0,26455	0,04409	14,68	0,000
Error	24	0,07206	0,00300		
Total	35	3,58099			

S = 0,0547968 R-Sq = 97,99% R-Sq(adj) = 97,07%

Analysis of Variance for SDTPA Cr

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN SAMSUN	2	0,000000000	0,000000000	**	
UYG SAMSUN	3	0,000000000	0,000000000	**	
ZAMAN SAMSUN*UYG SAMSUN	6	0,000000000	0,000000000	**	
Error	24	0,000000000	0,000000000		
Total	35	0,000000000			

** Denominator of F-test is zero.

S = 0 R-Sq = *% R-Sq(adj) = *%

Analysis of Variance for SDTPA Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN SAMSUN	2	11,7283	5,8642	94,80	0,000
UYG SAMSUN	3	0,8656	0,2885	4,66	0,010
ZAMAN SAMSUN*UYG SAMSUN	6	0,4034	0,0672	1,09	0,398
Error	24	1,4846	0,0619		
Total	35	14,4819			

S = 0,248717 R-Sq = 89,75% R-Sq(adj) = 85,05%

Analysis of Variance for EpH1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ELAZIĞ	3	0,09379	0,03126	12,98	0,000
ZAMAN ELAZIĞ	2	1,03682	0,51841	215,26	0,000
UYG ELAZIĞ*ZAMAN ELAZIĞ	6	0,17229	0,02872	11,92	0,000
Error	24	0,05780	0,00241		
Total	35	1,36070			

S = 0,0490748 R-Sq = 95,75% R-Sq(adj) = 93,81%

Analysis of Variance for EEC1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ELAZIĞ	3	3,6594	1,2198	198,39	0,000
ZAMAN ELAZIĞ	2	6,8098	3,4049	553,77	0,000
UYG ELAZIĞ*ZAMAN ELAZIĞ	6	2,7480	0,4580	74,49	0,000
Error	24	0,1476	0,0061		
Total	35	13,3648			

S = 0,0784129 R-Sq = 98,90% R-Sq(adj) = 98,39%

Analysis of Variance for Ekirec1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ELAZIĞ	3	3,1781	1,0594	1,45	0,252
ZAMAN ELAZIĞ	2	8,7462	4,3731	6,00	0,008
UYG ELAZIĞ*ZAMAN ELAZIĞ	6	4,7181	0,7864	1,08	0,403
Error	24	17,5035	0,7293		
Total	35	34,1459			

S = 0,853998 R-Sq = 48,74% R-Sq(adj) = 25,24%

Analysis of Variance for Eom 1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ELAZIĞ	3	21,8007	7,2669	49,78	0,000
ZAMAN ELAZIĞ	2	0,1771	0,0885	0,61	0,553
UYG ELAZIĞ*ZAMAN ELAZIĞ	6	1,6457	0,2743	1,88	0,126
Error	24	3,5035	0,1460		
Total	35	27,1269			

S = 0,382072 R-Sq = 87,08% R-Sq(adj) = 81,17%

Analysis of Variance for EDeğ-K

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ELAZIĞ	3	0,001809	0,000603	1,44	0,256
ZAMAN ELAZIĞ	2	0,211817	0,105909	252,88	0,000
UYG ELAZIĞ*ZAMAN ELAZIĞ	6	0,004023	0,000671	1,60	0,190
Error	24	0,010052	0,000419		
Total	35	0,227701			

S = 0,0204650 R-Sq = 95,59% R-Sq(adj) = 93,56%

Analysis of Variance for EKDK

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ELAZIĞ	3	123,085	41,028	10,96	0,000
ZAMAN ELAZIĞ	2	0,042	0,021	0,01	0,994
UYG ELAZIĞ*ZAMAN ELAZIĞ	6	12,694	2,116	0,57	0,754
Error	24	89,837	3,743		
Total	35	225,658			

S = 1,93474 R-Sq = 60,19% R-Sq(adj) = 41,94%

Analysis of Variance for E ALIN P

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ELAZIĞ	3	8774,1	2924,7	15,06	0,000
ZAMAN ELAZIĞ	2	2034,3	1017,2	5,24	0,013
UYG ELAZIĞ*ZAMAN ELAZIĞ	6	244,1	40,7	0,21	0,970

Error	24	4659,8	194,2
Total	35	15712,3	

S = 13,9341 R-Sq = 70,34% R-Sq(adj) = 56,75%

Analysis of Variance for E N

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG ELAZIĞ	3	0,00108035	0,00036012	8,55	0,000
ZAMAN ELAZIĞ	2	0,00546993	0,00273497	64,96	0,000
UYG ELAZIĞ*ZAMAN ELAZIĞ	6	0,00058701	0,00009783	2,32	0,065
Error	24	0,00101042	0,00004210		
Total	35	0,00814771			

S = 0,00648851 R-Sq = 87,60% R-Sq(adj) = 81,91%

Analysis of Variance for ENH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ELAZIĞ	2	135661	67830	9806,78	0,000
UYG ELAZIĞ	3	6003	2001	289,29	0,000
ZAMAN ELAZIĞ*UYG ELAZIĞ	6	16890	2815	406,98	0,000
Error	24	166	7		
Total	35	158719			

S = 2,62996 R-Sq = 99,90% R-Sq(adj) = 99,85%

Analysis of Variance for ENO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ELAZIĞ	2	25742,0	12871,0	1817,08	0,000
UYG ELAZIĞ	3	12512,8	4170,9	588,84	0,000
ZAMAN ELAZIĞ*UYG ELAZIĞ	6	2236,0	372,7	52,61	0,000
Error	24	170,0	7,1		
Total	35	40660,8			

S = 2,66145 R-Sq = 99,58% R-Sq(adj) = 99,39%

Analysis of Variance for EDTPA Zn_1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ELAZIĞ	2	22,5784	11,2892	47,92	0,000
UYG ELAZIĞ	3	59,6521	19,8840	84,41	0,000
ZAMAN ELAZIĞ*UYG ELAZIĞ	6	7,3965	1,2327	5,23	0,001
Error	24	5,6536	0,2356		
Total	35	95,2806			

S = 0,485354 R-Sq = 94,07% R-Sq(adj) = 91,35%

Analysis of Variance for EDTPA Pb_1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ELAZIĞ	2	102,6581	51,3291	6422,33	0,000
UYG ELAZIĞ	3	0,1658	0,0553	6,92	0,002
ZAMAN ELAZIĞ*UYG ELAZIĞ	6	0,1524	0,0254	3,18	0,019
Error	24	0,1918	0,0080		
Total	35	103,1682			

S = 0,0893995 R-Sq = 99,81% R-Sq(adj) = 99,73%

Analysis of Variance for EDTPA Cd_1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ELAZIĞ	2	1,78794	0,89397	68914,19	0,000
UYG ELAZIĞ	3	0,00036	0,00012	9,31	0,000
ZAMAN ELAZIĞ*UYG ELAZIĞ	6	0,00072	0,00012	9,31	0,000
Error	24	0,00031	0,00001		
Total	35	1,78934			

S = 0,00360170 R-Sq = 99,98% R-Sq(adj) = 99,97%

Analysis of Variance for EDTPA Ni_1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ELAZIĞ	2	0,381671	0,190835	505,78	0,000
UYG ELAZIĞ	3	0,018996	0,006332	16,78	0,000
ZAMAN ELAZIĞ*UYG ELAZIĞ	6	0,025175	0,004196	11,12	0,000
Error	24	0,009055	0,000377		
Total	35	0,434898			

S = 0,0194244 R-Sq = 97,92% R-Sq(adj) = 96,96%

Analysis of Variance for EDTPA Cr_1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ELAZIĞ	2	0,051667	0,025833	4,23	0,027
UYG ELAZIĞ	3	0,116389	0,038796	6,35	0,003
ZAMAN ELAZIĞ*UYG ELAZIĞ	6	0,352778	0,058796	9,62	0,000
Error	24	0,146667	0,006111		
Total	35	0,667500			

S = 0,0781736 R-Sq = 78,03% R-Sq(adj) = 67,96%

Analysis of Variance for EDTPA Cu_1

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN ELAZIĞ	2	3,34325	1,67163	25,79	0,000
UYG ELAZIĞ	3	1,54124	0,51375	7,93	0,001
ZAMAN ELAZIĞ*UYG ELAZIĞ	6	0,73821	0,12304	1,90	0,123
Error	24	1,55582	0,06483		
Total	35	7,17852			

S = 0,254609 R-Sq = 78,33% R-Sq(adj) = 68,39%

Analysis of Variance for YpH1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG YOZGAT	3	0,47651	0,15884	6,88	0,002
ZAMAN YOZGAT	2	0,13932	0,06966	3,02	0,068
UYG YOZGAT*ZAMAN YOZGAT	6	0,31311	0,05218	2,26	0,072
Error	24	0,55447	0,02310		
Total	35	1,48340			

S = 0,151996 R-Sq = 62,62% R-Sq(adj) = 45,49%

Analysis of Variance for YEC1

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

UYG YOZGAT	3	1,74585	0,58195	310,08	0,000
ZAMAN YOZGAT	2	2,92412	1,46206	779,04	0,000
UYG YOZGAT*ZAMAN YOZGAT	6	1,84576	0,30763	163,91	0,000
Error	24	0,04504	0,00188		
Total	35	6,56077			

S = 0,0433215 R-Sq = 99,31% R-Sq(adj) = 99,00%

Analysis of Variance for Ykirec1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG YOZGAT	3	11,7770	3,9257	6,53	0,002
ZAMAN YOZGAT	2	7,3266	3,6633	6,09	0,007
UYG YOZGAT*ZAMAN YOZGAT	6	7,4224	1,2371	2,06	0,097
Error	24	14,4366	0,6015		
Total	35	40,9625			

S = 0,775579 R-Sq = 64,76% R-Sq(adj) = 48,60%

Analysis of Variance for Yom 1

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG YOZGAT	3	6,8209	2,2736	48,85	0,000
ZAMAN YOZGAT	2	5,1980	2,5990	55,84	0,000
UYG YOZGAT*ZAMAN YOZGAT	6	2,7999	0,4667	10,03	0,000
Error	24	1,1170	0,0465		
Total	35	15,9359			

S = 0,215735 R-Sq = 92,99% R-Sq(adj) = 89,78%

Analysis of Variance for Y DEĞ K

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG YOZGAT	3	0,06571	0,02190	22,99	0,000
ZAMAN YOZGAT	2	1,13451	0,56726	595,51	0,000
UYG YOZGAT*ZAMAN YOZGAT	6	0,06208	0,01035	10,86	0,000
Error	24	0,02286	0,00095		
Total	35	1,28516			

S = 0,0308635 R-Sq = 98,22% R-Sq(adj) = 97,41%

Analysis of Variance for YKDK

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG YOZGAT	3	135,18	45,06	1,92	0,154
ZAMAN YOZGAT	2	13,91	6,96	0,30	0,747
UYG YOZGAT*ZAMAN YOZGAT	6	136,85	22,81	0,97	0,467
Error	24	564,55	23,52		
Total	35	850,49			

S = 4,85003 R-Sq = 33,62% R-Sq(adj) = 3,20%

Analysis of Variance for Yalınrfosfor

Source	DF	SS	MS	F	P
UYG YOZGAT	3	9001,1	3000,4	115,31	0,000
ZAMAN YOZGAT	2	5144,5	2572,3	98,86	0,000
UYG YOZGAT*ZAMAN YOZGAT	6	1000,4	166,7	6,41	0,000

Error	24	624,5	26,0
Total	35	15770,5	

S = 5,10093 R-Sq = 96,04% R-Sq(adj) = 94,23%

Analysis of Variance for YNH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN YOZGAT	2	120812	60406	8839,87	0,000
UYG YOZGAT	3	122043	40681	5953,30	0,000
ZAMAN YOZGAT*UYG YOZGAT	6	22107	3684	539,18	0,000
Error	24	164	7		
Total	35	265125			

S = 2,61406 R-Sq = 99,94% R-Sq(adj) = 99,91%

Analysis of Variance for YNO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN YOZGAT	2	27058,5	13529,3	2751,71	0,000
UYG YOZGAT	3	10340,8	3446,9	701,07	0,000
ZAMAN YOZGAT*UYG YOZGAT	6	167,5	27,9	5,68	0,001
Error	24	118,0	4,9		
Total	35	37684,8			

S = 2,21736 R-Sq = 99,69% R-Sq(adj) = 99,54%

Analysis of Variance for YDTPA Zn

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN YOZGAT	2	6,5787	3,2893	4,38	0,024
UYG YOZGAT	3	45,0699	15,0233	20,00	0,000
ZAMAN YOZGAT*UYG YOZGAT	6	8,3776	1,3963	1,86	0,130
Error	24	18,0311	0,7513		
Total	35	78,0572			

S = 0,866772 R-Sq = 76,90% R-Sq(adj) = 66,31%

Analysis of Variance for YDTPA Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN YOZGAT	2	24,5080	12,2540	21,96	0,000
UYG YOZGAT	3	0,8274	0,2758	0,49	0,690
ZAMAN YOZGAT*UYG YOZGAT	6	1,1870	0,1978	0,35	0,900
Error	24	13,3897	0,5579		
Total	35	39,9121			

S = 0,746929 R-Sq = 66,45% R-Sq(adj) = 51,08%

Analysis of Variance for YDTPA Cd

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN YOZGAT	2	0,90138	0,45069	14,49	0,000
UYG YOZGAT	3	0,06914	0,02305	0,74	0,538
ZAMAN YOZGAT*UYG YOZGAT	6	0,13829	0,02305	0,74	0,622
Error	24	0,74640	0,03110		
Total	35	1,85521			

S = 0,176352 R-Sq = 59,77% R-Sq(adj) = 41,33%

Analysis of Variance for YDTPA Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN YOZGAT	2	0,248836	0,124418	28,08	0,000
UYG YOZGAT	3	0,007768	0,002589	0,58	0,631
ZAMAN YOZGAT*UYG YOZGAT	6	0,029330	0,004888	1,10	0,389
Error	24	0,106346	0,004431		
Total	35	0,392280			

S = 0,0665664 R-Sq = 72,89% R-Sq(adj) = 60,46%

Analysis of Variance for YDTPA Cr

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN YOZGAT	2	0,000774	0,000387	0,05	0,954
UYG YOZGAT	3	0,012246	0,004082	0,50	0,688
ZAMAN YOZGAT*UYG YOZGAT	6	0,024492	0,004082	0,50	0,805
Error	24	0,197436	0,008226		
Total	35	0,234947			

S = 0,0907001 R-Sq = 15,97% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for YDTPA Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN YOZGAT	2	9,2383	4,6192	19,74	0,000
UYG YOZGAT	3	0,8222	0,2741	1,17	0,341
ZAMAN YOZGAT*UYG YOZGAT	6	0,3838	0,0640	0,27	0,944
Error	24	5,6158	0,2340		
Total	35	16,0601			

S = 0,483725 R-Sq = 65,03% R-Sq(adj) = 49,01%

EK 2 Sera denemesi toprak parametreleri için minitab 15 programıyla yapılan anova test çizelgeleri

Analysis of Variance for %N_1

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	0,0046233	0,0023117	22,61	0,000
DOZSERA	4	0,0047433	0,0011858	11,60	0,000
KONU*DOZSERA	8	0,0030267	0,0003783	3,70	0,002
Error	45	0,0046000	0,0001022		
Total	59	0,0169933			

S = 0,0101105 R-Sq = 72,93% R-Sq(adj) = 64,51%

Analysis of Variance for %NH4_1

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	0,000011557	0,000005779	**	
DOZSERA	4	0,000033007	0,000008252	**	
KONU*DOZSERA	8	0,000011031	0,000001379	**	
Error	45	0,000024979	0,000000555		
Total	59	0,000080575			

Denominator of F-test is zero.
S = 0,000745048 R-Sq = 69,00% R-Sq(adj) = 59,35%

Analysis of Variance for %NO3_1

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	0,00011320	0,00005660	11,32	0,000
DOZSERA	4	0,00107054	0,00026764	53,54	0,000
KONU*DOZSERA	8	0,00027341	0,00003418	6,84	0,000
Error	45	0,00022496	0,00000500		
Total	59	0,00168211			

S = 0,00223588 R-Sq = 86,63% R-Sq(adj) = 82,47%

Analysis of Variance for pH_1

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	0,15926	0,07963	4,55	0,016
DOZSERA	4	0,04951	0,01238	0,71	0,592
KONU*DOZSERA	8	0,32350	0,04044	2,31	0,036
Error	45	0,78802	0,01751		
Total	59	1,32030			

S = 0,132332 R-Sq = 40,31% R-Sq(adj) = 21,75%

Analysis of Variance for EC_1

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	0,002830	0,001415	0,77	0,471
DOZSERA	4	0,131990	0,032997	17,87	0,000
KONU*DOZSERA	8	0,033920	0,004240	2,30	0,037
Error	45	0,083100	0,001847		
Total	59	0,251840			

S = 0,0429729 R-Sq = 67,00% R-Sq(adj) = 56,74%

Analysis of Variance for Caco3_1

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	14844,7	7422,3	4737,76	0,000
DOZSERA	4	18,4	4,6	2,94	0,030
KONU*DOZSERA	8	31,0	3,9	2,47	0,026
Error	45	70,5	1,6		
Total	59	14964,6			

S = 1,25165 R-Sq = 99,53% R-Sq(adj) = 99,38%

Analysis of Variance for % o.m_1

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	21,5697	10,7848	177,94	0,000
DOZSERA	4	0,5482	0,1371	2,26	0,077
KONU*DOZSERA	8	1,6621	0,2078	3,43	0,004
Error	45	2,7275	0,0606		
Total	59	26,5075			

S = 0,246192 R-Sq = 89,71% R-Sq(adj) = 86,51%

Analysis of Variance for ppm P_1

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	1762,7	881,3	8,84	0,001
DOZSERA	4	6052,6	1513,2	15,18	0,000
KONU*DOZSERA	8	13241,4	1655,2	16,60	0,000
Error	45	4485,6	99,7		
Total	59	25542,3			

S = 9,98397 R-Sq = 82,44% R-Sq(adj) = 76,98%

Analysis of Variance for ppm K₁

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	86113	43056	5,52	0,007
DOZSERA	4	49500	12375	1,59	0,195
KONU*DOZSERA	8	134650	16831	2,16	0,050
Error	45	351265	7806		
Total	59	621527			

Analysis of Variance for ppm Fe₁

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	544,264	272,132	475,33	0,000
DOZSERA	4	156,848	39,212	68,49	0,000
KONU*DOZSERA	8	28,447	3,556	6,21	0,000
Error	45	25,763	0,573		
Total	59	755,322			

S = 0,756646 R-Sq = 96,59% R-Sq(adj) = 95,53%

Analysis of Variance for ppm Cu₁

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	0,3942	0,1971	18,19	0,000
DOZSERA	4	12,9412	3,2353	298,59	0,000
KONU*DOZSERA	8	1,6995	0,2124	19,61	0,000
Error	45	0,4876	0,0108		
Total	59	15,5225			

S = 0,104093 R-Sq = 96,86% R-Sq(adj) = 95,88%

Analysis of Variance for ppm Zn₁

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	65,120	32,560	96,95	0,000
DOZSERA	4	618,191	154,548	460,17	0,000
KONU*DOZSERA	8	108,995	13,624	40,57	0,000
Error	45	15,113	0,336		
Total	59	807,419			

S = 0,579526 R-Sq = 98,13% R-Sq(adj) = 97,55%

Analysis of Variance for ppm Mn₁

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	80,949	40,474	21,38	0,000
DOZSERA	4	67,096	16,774	8,86	0,000
KONU*DOZSERA	8	10,651	1,331	0,70	0,687
Error	45	85,189	1,893		
Total	59	243,885			

S = 1,37590 R-Sq = 65,07% R-Sq(adj) = 54,20%

Analysis of Variance for ppm Pb₁

Source	DF	SS	MS	F	P
--------	----	----	----	---	---

KONU	2	4,85461	2,42730	46,98	0,000
DOZSERA	4	0,17638	0,04409	0,85	0,499
KONU*DOZSERA	8	0,60132	0,07516	1,45	0,201
Error	45	2,32483	0,05166		
Total	59	7,95713			

S = 0,227295 R-Sq = 70,78% R-Sq(adj) = 61,69%

Analysis of Variance for ppm Ni_1

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	0,54002	0,27001	24,32	0,000
DOZSERA	4	4,16843	1,04211	93,85	0,000
KONU*DOZSERA	8	0,41965	0,05246	4,72	0,000
Error	45	0,49969	0,01110		
Total	59	5,62779			

S = 0,105377 R-Sq = 91,12% R-Sq(adj) = 88,36%

Analysis of Variance for BİTKİ N

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	0,8368	0,4184	1,72	0,191
DOZSERA	4	34,5903	8,6476	35,54	0,000
KONU*DOZSERA	8	3,9327	0,4916	2,02	0,065
Error	45	10,9492	0,2433		
Total	59	50,3090			

S = 0,493270 R-Sq = 78,24% R-Sq(adj) = 71,47%

Analysis of Variance for BİTKİ FE

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	13533	6767	1,87	0,165
DOZSERA	4	6363	1591	0,44	0,779
KONU*DOZSERA	8	15807	1976	0,55	0,815
Error	45	162509	3611		
Total	59	198212			

S = 60,0942 R-Sq = 18,01% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for BİTKİ CU

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	197,25	98,63	3,52	0,038
DOZSERA	4	186,23	46,56	1,66	0,176
KONU*DOZSERA	8	305,55	38,19	1,36	0,239
Error	45	1261,40	28,03		
Total	59	1950,44			

S = 5,29445 R-Sq = 35,33% R-Sq(adj) = 15,21%

Analysis of Variance for BİTKİ ZN

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	322,6	161,3	1,56	0,221
DOZSERA	4	10381,2	2595,3	25,09	0,000
KONU*DOZSERA	8	4071,6	509,0	4,92	0,000
Error	45	4655,2	103,4		
Total	59	19430,6			

S = 99,4669 R-Sq = 26,91% R-Sq(adj) = 4,17%

Analysis of Variance for BİTKİ MN

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	77462,5	38731,3	83,62	0,000
DOZSERA	4	9188,6	2297,1	4,96	0,002
KONU*DOZSERA	8	6100,7	762,6	1,65	0,139
Error	45	20844,3	463,2		
Total	59	113596,1			

S = 21,5222 R-Sq = 81,65% R-Sq(adj) = 75,94%

Analysis of Variance for yaş ağırlık

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	196,012	98,006	51,88	0,000
DOZSERA	4	510,868	127,717	67,61	0,000
KONU*DOZSERA	8	110,610	13,826	7,32	0,000
Error	45	85,005	1,889		
Total	59	902,496			

S = 1,37441 R-Sq = 90,58% R-Sq(adj) = 87,65%

Analysis of Variance for kuru ağırlık

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	4,1044	2,0522	20,32	0,000
DOZSERA	4	7,6685	1,9171	18,98	0,000
KONU*DOZSERA	8	2,0588	0,2573	2,55	0,022
Error	45	4,5449	0,1010		
Total	59	18,3766			

S = 0,317801 R-Sq = 75,27% R-Sq(adj) = 67,57%

Analysis of Variance for Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	624,364	312,182	404,47	0,000
DOZSERA	4	57,428	14,357	18,60	0,000
KONU*DOZSERA	8	19,055	2,382	3,09	0,007
Error	45	34,733	0,772		
Total	59	735,580			

S = 0,878544 R-Sq = 95,28% R-Sq(adj) = 93,81%

Analysis of Variance for Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	6484,03	3242,01	297,99	0,000
DOZSERA	4	53,57	13,39	1,23	0,311
KONU*DOZSERA	8	129,63	16,20	1,49	0,188
Error	45	489,58	10,88		
Total	59	7156,81			

S = 3,29843 R-Sq = 93,16% R-Sq(adj) = 91,03%

Analysis of Variance for Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
KONU	2	47,05	23,52	7,49	0,002

DOZSERA 4 386,81 96,70 30,77 0,000
 KONU*DOZSERA 8 2432,53 304,07 96,76 0,000
 Error 45 141,41 3,14
 Total 59 3007,80
 S = 1,77272 R-Sq = 95,30% R-Sq(adj) = 93,84%

Analysis of Variance for Cr

Source DF SS MS F P
 KONU 2 9372,5 4686,3 48,06 0,000
 DOZSERA 4 14574,8 3643,7 37,37 0,000
 KONU*DOZSERA 8 736,0 92,0 0,94 0,491
 Error 45 4387,7 97,5
 Total 59 29071,0
 S = 9,87448 R-Sq = 84,91% R-Sq(adj) = 80,21%

Analysis of Variance for Zn

Source DF SS MS F P
 KONU 2 1908,79 954,40 112,70 0,000
 DOZSERA 4 2480,81 620,20 73,23 0,000
 KONU*DOZSERA 8 960,86 120,11 14,18 0,000
 Error 45 381,10 8,47
 Total 59 5731,56
 S = 2,91012 R-Sq = 93,35% R-Sq(adj) = 91,28%

DTPA Toprak

Analysis of Variance for ppm Fe_1

Source DF SS MS F P
 KONU 2 544,264 272,132 475,33 0,000
 DOZSERA 4 156,848 39,212 68,49 0,000
 KONU*DOZSERA 8 28,447 3,556 6,21 0,000
 Error 45 25,763 0,573
 Total 59 755,322
 S = 0,756646 R-Sq = 96,59% R-Sq(adj) = 95,53%

Analysis of Variance for ppm Cu_1

Source DF SS MS F P
 KONU 2 0,3942 0,1971 18,19 0,000
 DOZSERA 4 12,9412 3,2353 298,59 0,000
 KONU*DOZSERA 8 1,6995 0,2124 19,61 0,000
 Error 45 0,4876 0,0108
 Total 59 15,5225

S = 0,104093 R-Sq = 96,86% R-Sq(adj) = 95,88%

Analysis of Variance for ppm Zn_1

Source DF SS MS F P
 KONU 2 65,120 32,560 96,95 0,000
 DOZSERA 4 618,191 154,548 460,17 0,000
 KONU*DOZSERA 8 108,995 13,624 40,57 0,000

Error 45 15,113 0,336
 Total 59 807,419
 S = 0,579526 R-Sq = 98,13% R-Sq(adj) = 97,55%

Analysis of Variance for ppm Mn_1

Source DF SS MS F P
 KONU 2 80,949 40,474 21,38 0,000
 DOZSERA 4 67,096 16,774 8,86 0,000
 KONU*DOZSERA 8 10,651 1,331 0,70 0,687
 Error 45 85,189 1,893
 Total 59 243,885
 S = 1,37590 R-Sq = 65,07% R-Sq(adj) = 54,20%

Analysis of Variance for ppm Pb_1

Source DF SS MS F P
 KONU 2 4,85461 2,42730 46,98 0,000
 DOZSERA 4 0,17638 0,04409 0,85 0,499
 KONU*DOZSERA 8 0,60132 0,07516 1,45 0,201
 Error 45 2,32483 0,05166
 Total 59 7,95713
 S = 0,227295 R-Sq = 70,78% R-Sq(adj) = 61,69%

Analysis of Variance for ppm Ni_1

Source DF SS MS F P
 KONU 2 0,54002 0,27001 24,32 0,000
 DOZSERA 4 4,16843 1,04211 93,85 0,000
 KONU*DOZSERA 8 0,41965 0,05246 4,72 0,000
 Error 45 0,49969 0,01110
 Total 59 5,62779
 S = 0,105377 R-Sq = 91,12% R-Sq(adj) = 88,36%

Analysis of Variance for CO2 sera

Source DF SS MS F P
 dozsera 4 637006 159252 11,88 0,000
 uygulamasera 2 265514 132757 9,90 0,000
 dozsera*uygulamasera 8 95187 11898 0,89 0,534
 Error 45 603203 13405
 Total 59 1600911

S = 115,778 R-Sq = 62,32% R-Sq(adj) = 50,60%

Analysis of Variance for biyokutle sera

Source DF SS MS F P
 dozsera 4 14468127 3617032 5840,52 0,000
 uygulamasera 2 125103 62552 101,00 0,000
 dozsera*uygulamasera 8 925395 115674 186,78 0,000
 Error 45 27868 619
 Total 59 15546494

S = 24,8857 R-Sq = 99,82% R-Sq(adj) = 99,76%

Analysis of Variance for BG sera

Source	DF	SS	MS	F	P
dozsera	4	21,8750	5,4688	4220,28	0,000
uygulamasera	2	2,6902	1,3451	1038,03	0,000
dozsera*uygulamasera	8	3,3221	0,4153	320,46	0,000
Error	45	0,0583	0,0013		
Total	59	27,9456			

S = 0,0359976 R-Sq = 99,79% R-Sq(adj) = 99,73%

EK 3 Tarla denemesi toprak parametreleri için minitab 15 programıyla yapılan anova test çizelgeleri

Factor	Type	Levels	Values
ZAMAN	fixed	2	1; 2
DOZ	fixed	8	1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8

Analysis of Variance for Toplam N

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	0,465882	0,465882	63,85	0,000
DOZ	7	0,101522	0,014503	1,99	0,076
ZAMAN*DOZ	7	0,103710	0,014816	2,03	0,070
Error	48	0,350210	0,007296		
Total	63	1,021325			

S = 0,0854169 R-Sq = 65,71% R-Sq(adj) = 54,99%

Analysis of Variance for ppm NH4

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	3421	3421	2,95	0,093
DOZ	7	9091	1299	1,12	0,367
ZAMAN*DOZ	7	11327	1618	1,39	0,230
Error	48	55754	1162		
Total	63	79593			

S = 34,0814 R-Sq = 29,95% R-Sq(adj) = 8,06%

Analysis of Variance for ppm NO3

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	5564,5	5564,5	15,10	0,000
DOZ	7	4941,7	706,0	1,92	0,088
ZAMAN*DOZ	7	10289,0	1469,9	3,99	0,002
Error	48	17688,5	368,5		
Total	63	38483,7			

S = 19,1966 R-Sq = 54,04% R-Sq(adj) = 39,67%

Analysis of Variance for ppm P2O5

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	3417,90	3417,90	37,12	0,000
DOZ	7	770,93	110,13	1,20	0,323
ZAMAN*DOZ	7	770,67	110,10	1,20	0,323
Error	48	4419,26	92,07		
Total	63	9378,77			

S = 9,59521 R-Sq = 52,88% R-Sq(adj) = 38,16%

Analysis of Variance for ppm K2O

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	2836	2836	1,25	0,270
DOZ	7	21228	3033	1,33	0,256
ZAMAN*DOZ	7	12890	1841	0,81	0,584
Error	48	109215	2275		
Total	63	146169			

S = 47,7003 R-Sq = 25,28% R-Sq(adj) = 1,93%

Analysis of Variance for Kireç

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	1348,301	1348,301	332,78	0,000
DOZ	7	25,149	3,593	0,89	0,524
ZAMAN*DOZ	7	74,149	10,593	2,61	0,023
Error	48	194,478	4,052		
Total	63	1642,077			

S = 2,01286 R-Sq = 88,16% R-Sq(adj) = 84,46%

Analysis of Variance for Organik Madde

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	1,0891	1,0891	9,41	0,004
DOZ	7	1,9479	0,2783	2,40	0,034
ZAMAN*DOZ	7	1,2275	0,1754	1,52	0,185
Error	48	5,5555	0,1157		
Total	63	9,8200			

S = 0,340204 R-Sq = 43,43% R-Sq(adj) = 25,75%

Analysis of Variance for pH

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	28,3556	28,3556	541,26	0,000
DOZ	7	0,5018	0,0717	1,37	0,240
ZAMAN*DOZ	7	0,4215	0,0602	1,15	0,349
Error	48	2,5147	0,0524		
Total	63	31,7936			

S = 0,228885 R-Sq = 92,09% R-Sq(adj) = 89,62%

Analysis of Variance for EC

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	0,003452	0,003452	1,56	0,217
DOZ	7	0,039423	0,005632	2,55	0,026
ZAMAN*DOZ	7	0,055261	0,007894	3,58	0,004
Error	48	0,105875	0,002206		
Total	63	0,204011			

S = 0,0469652 R-Sq = 48,10% R-Sq(adj) = 31,89%

Analysis of Variance for ppb Cd

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	37,8	37,8	0,14	0,707
DOZ	7	3980,2	568,6	2,16	0,055
ZAMAN*DOZ	7	26,3	3,8	0,01	1,000
Error	48	12659,2	263,7		
Total	63	16703,4			

S = 16,2399 R-Sq = 24,21% R-Sq(adj) = 0,53%

Analysis of Variance for ppb Cr

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	6,817	6,817	3,70	0,060
DOZ	7	40,619	5,803	3,15	0,008
ZAMAN*DOZ	7	0,991	0,142	0,08	0,999
Error	48	88,435	1,842		
Total	63	136,863			

S = 1,35735 R-Sq = 35,38% R-Sq(adj) = 15,19%

Analysis of Variance for ppm Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	0,0371	0,0371	0,13	0,719
DOZ	7	4,5020	0,6431	2,27	0,045
ZAMAN*DOZ	7	7,6416	1,0917	3,85	0,002
Error	48	13,6156	0,2837		
Total	63	25,7962			

S = 0,532595 R-Sq = 47,22% R-Sq(adj) = 30,72%

Analysis of Variance for ppb Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	380146	380146	5,18	0,027
DOZ	7	1008982	144140	1,96	0,080
ZAMAN*DOZ	7	1765657	252237	3,44	0,005
Error	48	3523532	73407		
Total	63	6678318			

S = 270,937 R-Sq = 47,24% R-Sq(adj) = 30,75%

Analysis of Variance for ppb Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	492874	492874	35,48	0,000
DOZ	7	126187	18027	1,30	0,272

ZAMAN*DOZ 7 203983 29140 2,10 0,062
 Error 48 666756 13891
 Total 63 1489801
 S = 117,859 R-Sq = 55,25% R-Sq(adj) = 41,26%

Analysis of Variance for ppm Zn

Source DF SS MS F P
 ZAMAN 1 2,60 2,60 0,14 0,715
 DOZ 7 251,74 35,96 1,87 0,095
 ZAMAN*DOZ 7 442,79 63,26 3,29 0,006
 Error 48 922,32 19,22
 Total 63 1619,44
 S = 4,38349 R-Sq = 43,05% R-Sq(adj) = 25,25%

Analysis of Variance for KDK

Source DF SS MS F P
 ZAMAN 1 7,5292 7,5292 9,37 0,004
 DOZ 7 22,1769 3,1681 3,94 0,002
 ZAMAN*DOZ 7 0,7075 0,1011 0,13 0,996
 Error 48 38,5866 0,8039
 Total 63 69,0001
 S = 0,896597 R-Sq = 44,08% R-Sq(adj) = 26,60%

Analysis of Variance for T Zn

Source DF SS MS F P
 ZAMAN 1 23,3 23,3 0,09 0,767
 DOZ 7 1364,7 195,0 0,74 0,637
 ZAMAN*DOZ 7 4378,0 625,4 2,38 0,036
 Error 48 12595,9 262,4
 Total 63 18361,9
 S = 16,1992 R-Sq = 31,40% R-Sq(adj) = 9,97%

Analysis of Variance for T Cr

Source DF SS MS F P
 ZAMAN 1 626,93 626,93 19,02 0,000
 DOZ 7 2675,03 382,15 11,60 0,000
 ZAMAN*DOZ 7 1979,41 282,77 8,58 0,000
 Error 48 1581,85 32,96
 Total 63 6863,21
 S = 5,74066 R-Sq = 76,95% R-Sq(adj) = 69,75%

Analysis of Variance for T Pb

Source DF SS MS F P
 ZAMAN 1 195,46 195,46 10,05 0,003
 DOZ 7 324,08 46,30 2,38 0,036
 ZAMAN*DOZ 7 48,73 6,96 0,36 0,922
 Error 48 933,97 19,46
 Total 63 1502,24
 S = 4,41109 R-Sq = 37,83% R-Sq(adj) = 18,40%

Analysis of Variance for T Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	13,931	13,931	2,49	0,121
DOZ	7	55,740	7,963	1,42	0,218
ZAMAN*DOZ	7	13,563	1,938	0,35	0,928
Error	48	268,687	5,598		
Total	63	351,920			

S = 2,36593 R-Sq = 23,65% R-Sq(adj) = 0,00%

Analysis of Variance for T Ni

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	53,387	53,387	12,13	0,001
DOZ	7	148,313	21,188	4,82	0,000
ZAMAN*DOZ	7	23,524	3,361	0,76	0,620
Error	48	211,212	4,400		
Total	63	436,436			

S = 2,09768 R-Sq = 51,61% R-Sq(adj) = 36,48%

Analysis of Variance for TCd ppb

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	70,1	70,1	0,12	0,731
DOZ	7	47208,9	6744,1	11,51	0,000
ZAMAN*DOZ	7	18,2	2,6	0,00	1,000
Error	48	28119,8	585,8		
Total	63	75417,0			

S = 24,2039 R-Sq = 62,71% R-Sq(adj) = 51,06%

Analysis of Variance for B boy

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	198,81	198,81	2,09	0,155
DOZ	7	1257,63	179,66	1,89	0,093
ZAMAN*DOZ	7	866,03	123,72	1,30	0,271
Error	48	4572,01	95,25		
Total	63	6894,48			

S = 9,75962 R-Sq = 33,69% R-Sq(adj) = 12,96%

Analysis of Variance for verim

Source	DF	SS	MS	F	P
ZAMAN	1	37573	37573	25,66	0,000
DOZ	7	44848	6407	4,38	0,001
ZAMAN*DOZ	7	10320	1474	1,01	0,438
Error	48	70285	1464		
Total	63	163027			

S = 38,2658 R-Sq = 56,89% R-Sq(adj) = 43,41%

Analysis of Variance for BG Tarla

Source	DF	SS	MS	F	P
doz	7	7,7914	1,1131	21,66	0,000
Error	24	1,2335	0,0514		
Total	31	9,0249			

S = 0,226707 R-Sq = 86,33% R-Sq(adj) = 82,35%

Analysis of Variance for AP Tarla

Source	DF	SS	MS	F	P
doz	7	5,46025	0,78004	14,46	0,000
Error	24	1,29482	0,05395		
Total	31	6,75507			

S = 0,232274 R-Sq = 80,83% R-Sq(adj) = 75,24%

Analysis of Variance for CO2 Tarla

Source	DF	SS	MS	F	P
doz	7	178548	25507	36,61	0,000
Error	24	16721	697		
Total	31	195269			

S = 26,3951 R-Sq = 91,44% R-Sq(adj) = 88,94%

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Shima FARASAT

Doğum Yeri : İran

Doğum Tarihi : 08.09.1980

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : NODET (National Organization for Development of Exceptional Talents) High School

Lisans : Agriculture Faculty, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Urmia University, İran

Yüksek Lisans : Agriculture Faculty, Department of Soil science and Plant nutrition, Islamic Azad University, Branch of Karaj, İran

Yayınları

1. **Farasat, S.**, Ardalan, M.M., Study of nitrogen mineralization in some of Urmia soils. International soil science congress on "Management of natural resources to sustain soil health and quality", Samsun, Turkey, 26-28, May 2010.
2. Karaca,A.,Erdogan,E.E.,**Farasat,S.**,Turgay,O.C.,Y.Yay,H.,Composting board paper mill sludge with different organic wastes. International soil science congress on "Management of natural resources to sustain soil health and quality", Samsun, Turkey, 26-28, May 2010.
3. Namlı,A.,Erdoğan,E.,**Farasat,S.**,Turgay,C.O. Effects of paper mill sludge on soil properties. International soil science congress on "Management of natural resources to sustain soil health and quality", Samsun, Turkey, 26-28, May 2010.
4. Namlı, A., **Farasat,S.**, Karabağ, S. 2011. Effects of different types of soil on decomposition. Prof.Dr.Nuri Munsuz Ulusal Toprak ve Su Sempozyonu.
5. Berber,A.S., **Farasat,S.**,Namlı,A. 2012. Afforestation effects on physical, chemical and biological soil properties.8th International Soil Science Congress on "Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management".15 - 17 May 2012, Çesme-İzmir/TURKEY.

6. Tumer, AR., Karacaoglu, E., Namlı, A., Keten, A., **Farasat, S.**, Akcan, R., Sert, O., Odabaşı, AB. 2013. Effects of different types of soil on decomposition: an experimental study. *Leg Med (Tokyo)*. 15(3),149-156.